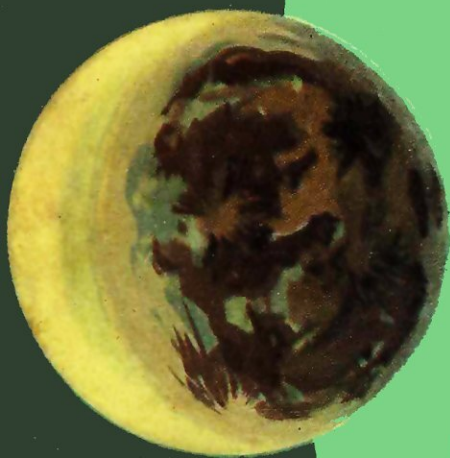


NUMÉRO HORS SÉRIE

SCIENCE *et* VIE

édition trimestrielle n° 41 • 250 Frs



***LES VOYAGES
INTERPLANÉTAIRES...***

COMTE

N'ATTENDEZ PAS!

Commencez chez vous dès maintenant les études les plus profitables

grâce à l'enseignement par correspondance de l'École Universelle, la plus importante du monde, qui vous permet de faire chez vous, en toutes résidences, à tout âge, aux moindres frais, des études complètes dans toutes les branches, de vaincre avec une aisance surprenante les difficultés qui vous ont jusqu'à présent arrêté, de conquérir en un temps record le diplôme ou la situation dont vous rêvez. L'enseignement étant individuel, vous avez intérêt à commencer vos études dès maintenant.

Demandez l'envoi gratuit de la brochure qui vous intéresse :

- Br. 89.300 : **Les premières classes** : 1^{er} degré, 1^{er} cycle : Cours préparatoire (classe de 11^e), Cours élémentaire (classes de 10^e et 9^e), Cours moyen (classes de 8^e, 7^e). Admission en 6^e.
- Br. 89.305 : **Toutes les classes, tous les examens, 1^{er} degré, 2^e cycle** : classe de fin d'études, Cours complém., C.E.P., Brevets, C. A. P.; — 2^e degré : de la 6^e aux classes de Lettres sup. et de math. spéc., Bacc., B. E. P. C., Bourses; — **Classes des collèges techniques**, Brevet d'enseignement industriel et commercial, Bacc. technique.
- Br. 89.302 : **Les études de Droit** : Capacité, Licence, Carrières juridiques (Magistrature, Barreau, etc.).
- Br. 89.314 : **Les études supérieures de Sciences** : P. C. B., Certificats d'études sup. (Math. gén., M. P. C., S. P. C. N., etc.), C. A. P. E. S. de Math., Agrég.
- Br. 89.323 : **Les études supérieures de Lettres** : Propédeut., Licence, C. A. P. E. S., Agrégation.
- Br. 89.327 : **Grandes Écoles et Écoles spéciales** : Polytechnique, Écoles Normales Supérieures, Chartes, Écoles d'Ingénieurs (Ponts et Chaussées, Mines, Centrales, Supérieures Aéro, Électricité, Physique et Chimie, A. et M., etc.); **militaires** (Saint-Cyr, Interarmes), **de Mer** (Navale, Éc. de Maistrance), **de l'Air** (Éc. de l'Air, Éc. milit. de Sous-offic. élèves Offic.); **d'Agriculture** (Institut agronomique, Écoles vétérinaires, Écoles nationales d'Agriculture, Sylviculture, Laiterie, etc.); **de Commerce** (H. E. C., H. E. C. F., Écoles supérieures de Commerce, Écoles hôtelières, etc.); **Beaux-Arts** (Architecture, Arts décoratifs); **Administration** (E. N. A., France d'outre-mer); Écoles professionnelles, Écoles spéciales d'Assistantes sociales, Infirmières, Sages-Femmes.
- Br. 89.304 : **Carrières de l'Agriculture** (Régisseur, Directeur d'Exploitation, Chef de culture, Assistant, Aviculteur, Apiculteur, etc.), **des Industries agricoles** (Laiterie, Sucrerie, Meunerie, etc.), **du Génie rural** (Entrepreneur, Conducteur, Chef de chantier, Radiesthésiste), **de la Topographie** (Géomètre expert).
- Br. 89.315 : **Carrières de l'Industrie et des Travaux publics** : Électricité, Mécanique, Automobile, Aviation, Métallurgie, Mines, Travaux publics, Architecture, Béton armé, Chauffage, Froid, Chimie, Dessin industriel, etc.; préparations aux C. A. P., B. P., préparations aux fonctions d'ouvrier spécialisé, agent de maîtrise, contremaître, dessinateur, sous-ingénieur; Cours d'initiation et de perfectionnement toutes matières.
- Brochure : **Carrières de la Comptabilité** : Voir notre annonce spéciale en Couverture III.
- Br. 89.303 : **Carrières du Commerce** : Employé de bureau, Sténodactylo, Employé de banque, Publicitaire, Secrétaire, Secrétaire de Direction, etc.; préparation aux C. A. P. et B. P.; **Publicité, Banque, Bourse, Assurances, Hôtellerie**.
- Br. 89.316 : **Pour devenir fonctionnaire** : Toutes les fonctions publiques : École nationale d'Administration.
- Br. 89.307 : **Tous les emplois réservés**.
- Br. 89.317 : **Orthographe, Rédaction, Versification, Calcul, Dessin, Écriture**.
- Br. 89.310 : **Calcul extra-rapide** et calcul mental.
- Br. 89.319 : **Carrières de la Marine Marchande** : École nat. de la Mar. march., Élève-Officier au long cours; Lieutenant au cabotage; Capitaine de la Marine marchande; Patron au bornage; Capitaine et Patron de pêche; Officier Mécanicien de 2^e ou 3^e classe; Certificats internationaux de Radio de 1^{er} ou de 2^e classe (P. T. T.).
- Br. 89.306 : **Carrières de la Marine de Guerre** : École Navale; École des Élèves officiers; École des Élèves ingénieurs mécaniciens; Écoles de Service de Santé; Commissariat et Administration; Écoles de Maistrance; Écoles d'Apprentis marins; Écoles de Pupilles; Écoles techniques de la Marine; École d'application du Génie maritime.
- Br. 89.324 : **Carrières de l'Aviation** : Écoles et carrières militaires; Éc. de l'Air, Éc. milit. de sous-offic., élèves-offic.; Personnel navigant; Mécaniciens et Télémechaniciens; — Aéronautique civile; — Carrières administratives; — Industrie aéronautique; — Hôtesse de l'Air.
- Br. 89.318 : **Radio** : Certificats internationaux; Construction; dépannage de poste. — **Télévision**.
- Brochure : **Langues vivantes** : Voir notre annonce spéciale en couverture III.
- Br. 89.301 : **Études musicales** : Solfège, Harmonie, Composition, Direction d'orchestre; Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Guitare, Accordéon, Instruments de Jazz; Chant; Professorats publics et privés.
- Br. 89.326 : **Arts et Dessins** : Dessin pratique, Cours universel de Dessin; Anatomie artistique; Illustration; Figurines de mode, Composition décorative; Aquarelle, Gravure, Peinture, Pastel, Fusain; Professorats.
- Br. 89.308 : **Carrières de la Couture et de la Mode** : Coupe, Couture (Flou et Tailleur), Lingerie, Corset, Broderie, préparations aux C. A. P., B. P., Professorats officiels; préparations aux fonctions de Petite main, Seconde main, Première main, Vendeuse-Retoucheuse, Modiste, Coupeur hommes, Chemisier, etc.; Cours d'initiation et perfectionnement toutes spécialités. — **Enseignement ménager** : Monitorat et Professorat.
- Br. 89.320 : **Secrétariats** (Secrétaire de direction, Secrétaire particulier, Secrétaire de médecin, d'avocat, d'homme de lettres, Secrétaire technique); **Journalisme** : l'Art d'écrire (Rédaction littéraire) et l'Art de parler en public (Éloquence usuelle).
- Br. 89.325 : **Cinéma** : Technique générale, Décoration, Maquillage, Photographie, Prise de vues, Prise de son.
- Br. 89.311 : **Coiffure et Soins de beauté**.
- Br. 89.321 : **Toutes les Carrières féminines**.

La liste ci-dessus ne comprend qu'une partie de nos enseignements. N'hésitez pas à nous écrire. Nous vous donnerons gratuitement tous les renseignements et conseils qu'il vous plaira de nous demander.

DES MILLIERS D'INÉGALABLES SUCCÈS

remportés chaque année par nos élèves dans les examens et concours officiels prouvent l'efficacité de l'enseignement par correspondance de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE, 59, bd Exelmans - PARIS (XVI^e)

— Chemin de Fabron, NICE (A.-M.) — II, place Jules-Ferry, LYON —

Si vos affaires vous appellent en Afrique



**de votre bureau
jusqu'au terme
de votre voyage,
l'U.A.T. vous prend
sous son aile.**

Un projet à étudier, un chantier à visiter, vos affaires ou vos comptoirs à surveiller : l'Afrique est là devant vous, avec ses immenses possibilités !

Des liaisons par long-courriers Douglas Super DC6, modernes, confortables, vous feront arriver reposé et détendu dans tous les centres importants du CAMEROUN, de l'AFRIQUE OCCIDENTALE ou de l'AFRIQUE EQUATORIALE.

Des correspondances avec les circuits d'aérobis Héron et Noratlas, si vous avez besoin de vous enfoncer plus avant, vous permettront de repartir sans perte de temps vers votre destination, comme on change de métro à la Concorde !

Les fameuses lignes internationales Paris-Johannesburg, Paris-Livingstone, Paris-Salisbury, par RIVIERA-SPECIAL et STAR of PARIS, la route la plus directe dans le temps le plus court.

Et toujours à bord, les mêmes équipages expérimentés, la même qualité de service, courtois, attentif, prévenant.

Voyagez

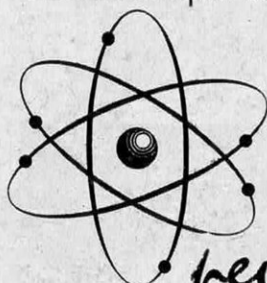
U.A.T.

UNION AÉROMARITIME DE TRANSPORT
La plus importante compagnie privée française de transport aérien

arrivez reposé

3, BD MALESHERBES, PARIS 6^e ANJ. 68-70-78-04 à 09 RENSEIGNEMENTS ET BILLETS DANS TOUTES AGENCES DE VOYAGES AGRÉÉES.

L'Electronique est *vo*tre Avenir



...mais

IL
VOUS
MANQUE

peut-être...

d'en avoir fait l'étude méthodique et suffisamment complète.

L'Electronique n'est pas une science difficile ; elle ouvre un monde nouveau et captivant d'applications hier encore inconnues. L'Electronique ne fait pas appel à des abstractions ; elle repose sur des notions très simples et très concrètes.

Notre cours d'Electronique et Applications est conçu pour mettre en lumière ces notions fondamentales.

En s'appuyant toujours sur celles-ci, il permet à l'élève d'acquérir la connaissance de techniques réputées complexes sans être jamais dépaycé. Chaque question importante est illustrée d'exemples complètement traités qui entraînent l'élève à **penser en électronicien**.

Chaque leçon est suivie de nombreux exercices qui sont de véritables applications choisies dans les problèmes que pose la pratique du métier.

Par exemple : Signalisation par cellules photo-électriques - Reproduction électronique sur les machines-outils - Contrôle des moteurs électriques - Pesage électronique - Jaugeage électronique - Calcul du gain et de la puissance des amplificateurs - Calcul de la fréquence des oscillateurs - Applications des ultra-sons - Servo-mécanismes, etc...

Nous nous sommes donc efforcés de donner à nos élèves une formation à la fois technique et pratique qui leur permettra de **comprendre** et de solutionner rapidement et **correctement** tous les problèmes relevant de l'Electronique.

Nous avons créés deux cours distincts :

— **Formation d'Agent Technique Electronicien (sous-ingénieur) :**

Programme ELN/OA

— **Formation d'Ingénieur Electronicien :**

Programme IEN/OA

Demandez le programme qui vous intéresse (en joignant deux timbres) à l'**INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL**, 69, rue de Chabrol, Section Spéciale ELN, Bâtiment A, PARIS (X^e).

Pour la Belgique : I.T.P. Centre administratif, 87, rue de l'Ecole à ERPENT-NAMUR.

le 1^{er} vrai livre sur les SATELLITES ARTIFICIELS

par Pierre ROUSSEAU

Ce qui se passe au-dessus de vous.
Irons-nous dans la Lune ?



CHEZ VOTRE LIBRAIRE ★

HACHETTE

Vous connaîtrez
chaque mois un nouveau problème de
la Science actuelle
EN LISANT

Diagrammes

nouvelle
collection scientifique

100 pages par mois sur un seul sujet

Diagrammes n'est pas un "digest" : il traite un seul sujet par mois, mais d'une manière approfondie, dessins et photos à l'appui. Le texte est vivant, facile à comprendre ; 80 pages passionnantes comme un roman.

Lisez chaque mois **Diagrammes**, et vous serez au courant des grands problèmes scientifiques d'actualité : médecine, atome, astronomie, sciences naturelles, etc...

Diagrammes est vendu uniquement par abonnement, ce qui vous fait bénéficier d'un prix extrêmement bas pour un ouvrage de cette qualité (200 frs le volume).

SPÉCIMEN valeur 200 frs pour
seulement **60frs**

Envoyez le **BON** ci-dessous avec vos noms et adresse aux
Editions du Cap, Sce DG7, 1, Av. de la Scala, Monte-Carlo.



Envoyez-moi l'exemplaire suivant de **Diagrammes**

- Année géophysique internationale.
- Notre ennemi le cancer.
- L'éducation sexuelle
- Le zéro absolu
- La chirurgie du cœur

(Biffer
les mentions
inutiles)



Inclus 60 frs en timbres.

ANGLAIS ?
ALLEMAND ?
ITALIEN ? RUSSE ?
CHINOIS ?

la langue la plus facile

**c'est celle
que vous apprenez
par la Méthode Linguaphone**



TOUTES les langues sont aussi faciles les unes que les autres ; la preuve c'est que les bébés de tous les pays du monde arrivent aussi vite et aussi facilement à comprendre et à parler leur langue maternelle. Si nous avons du mal, ensuite, à parler d'autres langues, c'est qu'on nous les enseigne en nous faisant traduire et en nous obligeant à apprendre par cœur des règles et du vocabulaire, ce qui est long et ennuyeux. Mais voici une nouvelle méthode absolument révolutionnaire : avec Linguaphone, vous ne tra-

duisez à aucun moment ; dès le début vous pensez dans la langue. Vous

apprenez chez vous pendant vos loisirs ; un quart d'heure par jour suffit et en 60 heures vous êtes capable de parler couramment avec un accent impeccable. Linguaphone vous enseigne les langues par le moyen naturel ; rien n'est plus facile, plus rapide, plus efficace ; et c'est un passe-temps des plus amusant. Hâtez-vous de vous renseigner sur la célèbre Méthode Linguaphone.

*Brochure
Gratuite*

Venez aujourd'hui-même prendre une leçon, démonstration gratuite ou envoyez le coupon ci-contre pour recevoir une intéressante brochure de 36 pages contenant l'offre d'un essai gratuit 8 jours chez vous.



**Essai Gratuit
8 jours chez vous**

BON
N. 38

INSTITUT LINGUAPHONE
12, r. Lincoln (Ch.-Elysées) PARIS 8°

Veuillez m'envoyer sans engagement, votre brochure gratuite contenant l'offre d'un essai gratuit de 8 jours chez moi d'un cours

(indiquez la langue choisie) qui m'intéresse pour :
Culture - Améliorer ma situation - Voyages - Affaires - Préparer un examen - Etudes scolaires - Apprendre à un jeune enfant. (Rayez les mentions inutiles).

Nom _____

Adresse _____

— Pour la Belgique : 54, rue du Midi - Bruxelles. —

c'est tellement *plus* vrai...



avec l'orthovision

Plus réaliste, plus documentaire,
plus vivante avec l'orthovision,
l'image prend un relief étonnant.
Seul le téléviseur
DUCRETET THOMSON
vous donne l'image en orthovision,
une image beaucoup plus fine,
stable, plus régulière,
en tous points parfaite,
une image vraie obtenue grâce
aux perfectionnements exclusifs
DUCRETET THOMSON.

L'orthovision (du grec ortho : correct)
est une marque déposée,
propriété exclusive
de la Compagnie Française
THOMSON HOUSTON.

Téléviseurs, récepteurs de radio, électrophones
DUCRETET - THOMSON

chez tous les distributeurs de la marque et au centre de propagande,
173, Bd Haussmann, Paris 8^e



Cette couverture est celle du numéro publié en 1952, devenu introuvable, dont nous donnons une édition nouvelle à la demande de très nombreux lecteurs. L'abondance des compléments qui y ont été apportés et l'introduction de chapitres originaux font de la présente livraison un ouvrage entièrement renouvelé, fournissant un panorama complet de l'état actuel de la science des voyages extra-terrestres.

LES VOYAGES INTERPLANÉTAIRES...

SOMMAIRE

● ÉDITORIAL	6
● LES VOYAGES EXTRA-TERRESTRES	8
● L'ASTRONAUTIQUE, SCIENCE NOUVELLE ..	21
● LES INCONNUES DU « VIDE » INTERPLANÉTAIRE	34
● LUNE, MARS, VÉNUS.... ASTRES MORTS?	46
● MILLE ANS D'HISTOIRE DE LA FUSÉE	62
● LA PROPULSION PAR FUSÉE	76
● COMBUSTIBLES POUR FUSÉES	85
● LES FUSÉES DE L'AVENIR	94
● L'HOMME POURRA-T-IL VIVRE A BORD D'UN ASTRONEF?	103
● LE SATELLITE ARTIFICIEL	116
● LES APPLICATIONS DU SATELLITE	137
● VERS LES VOYAGES COSMIQUES	143

TARIF DES ABONNEMENTS

	France et Union Fr ^{ee}	Étranger	Benelux et Congo belge
UN AN, 12 parutions	1000 fr.	1400 fr.	200 fr. belges
UN AN, 12 parutions	1600 fr.	1900 fr.	
UN AN, avec en plus, 4 numéros hors série	1650 fr.	2200 fr.	375 fr. belges
UN AN, avec en plus, 4 numéros hors série	2400 fr.	2900 fr.	

Changement d'adresse, poster la dernière bande et 30 fr. en timbres-poste.

Administration, Rédaction : 5, rue de La Baume, Paris-8^e. Tél. : Balzac 57-61. Chèque postal 91-07 PARIS.
Adresse télégraphique : SIENVIE Paris. — **Publicité :** 2, rue de La Baume, Paris-8^e. Tél. : Elysées 87-46.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by SCIENCE ET VIE. Décembre 1957.

Éditorial

L'«Astronautique» n'a longtemps évoqué dans l'esprit du grand public que les anticipations de Jules Verne et de Wells et les innombrables romans pseudo-scientifiques des magazines à sensation. Jusqu'à une date toute récente, les gens prétendus raisonnables accueillaient ce terme avec un sourire sceptique. Que certains puissent envisager sérieusement que l'homme entreprenne un jour de partir à la conquête des astres, de franchir les énormes distances qui nous en séparent, de se soumettre aux conditions certainement redoutables d'un voyage à travers le vide en conservant l'espoir du retour, leur paraissait une idée non seulement fantastique, mais déraisonnable, voire un peu ridicule. Aujourd'hui, si quelqu'un s'étonne, c'est de ne pas avoir trouvé encore dans son journal le récit vécu d'une exploration des cirques lunaires.

Il y a quinze ans, personne ne croyait à l'Astronautique, sauf de rares et tenaces enthousiastes. Elle paraissait n'être qu'un jeu de spéculations hasardeuses, étayé de notions scientifiques rudimentaires et d'hypothèses abusives. Les principes fondamentaux de la locomotion dans l'espace, sur lequel devait s'édifier la science astronautique moderne, avaient pourtant été formulés dès le début du siècle. Mais il ne pouvait s'agir que de vues académiques, et ce sont seulement les progrès énormes des fusées au cours de la dernière guerre et des années qui suivirent, en particulier les travaux sur les engins balistiques intercontinentaux, qui apportèrent la solution du problème fondamental : franchir l'atmosphère terrestre pour fournir à l'astronef, parvenu dans le vide, l'impulsion ultime qui assurera son vol à travers l'espace, soumis aux seules lois de la mécanique céleste.

Aussi voit-on aujourd'hui les savants les plus authentiques, les techniciens les plus éminents se pencher sur les problèmes astro-

Dedale forge les ailes
d'Icare pour son vol
vers le Soleil.



nautiques. Astronomes et mathématiciens calculent les trajectoires, les astrophysiciens discutent de la composition des atmosphères des astres et de la matière interstellaire, les chimistes étudient les vitesses de réaction des « propergols », les thermodynamiciens le dessin des tuyères, les métallurgistes les alliages spéciaux, les électroniciens les systèmes d'autoguidage et de télémesure, les aérodynamiciens le profil à donner aux astronefs pour leur retour dans l'atmosphère. Enfin les physiologistes s'attaquent aux problèmes de la vie en atmosphère confinée et « sans pesanteur » et de la protection contre les rayonnements.

Devenue une science officielle puisqu'elle a déjà rassemblé huit congrès internationaux, l'Astronautique apparaît comme une sorte de grand'œuvre, synthèse des sciences et des techniques les plus diverses. Il n'est pas jusqu'aux juristes qui ne discutent des limites de la juridiction des États dans l'espace et du droit qu'aurait une puissance à annexer tout ou partie du sol lunaire.

L'expédition lunaire est-elle donc pour demain ? Il n'est certes pas possible de donner à cette question une réponse précise, mais il est hors de doute que cet exploit s'accomplira. Le lancement des satellites artificiels constitue la première justification concrète des espoirs de l'Astronautique quant à la conquête effective de l'espace extra-terrestre par l'homme. La performance est encore modeste, mais décisive. Les bornes de l'atmosphère sont franchies. Bientôt nous pourrions aller plus loin : autour de la Lune, sur la Lune, à travers le système solaire, vers les étoiles.

Constatant que toutes les parties du domaine terrestre de l'homme étaient à peu près complètement occupées et exploitées, Paul Valéry écrivait : « C'est le temps du monde fini qui commence. » Avec les lancements de satellites artificiels s'est ouverte au contraire une ère nouvelle, celle du monde vraiment infini.

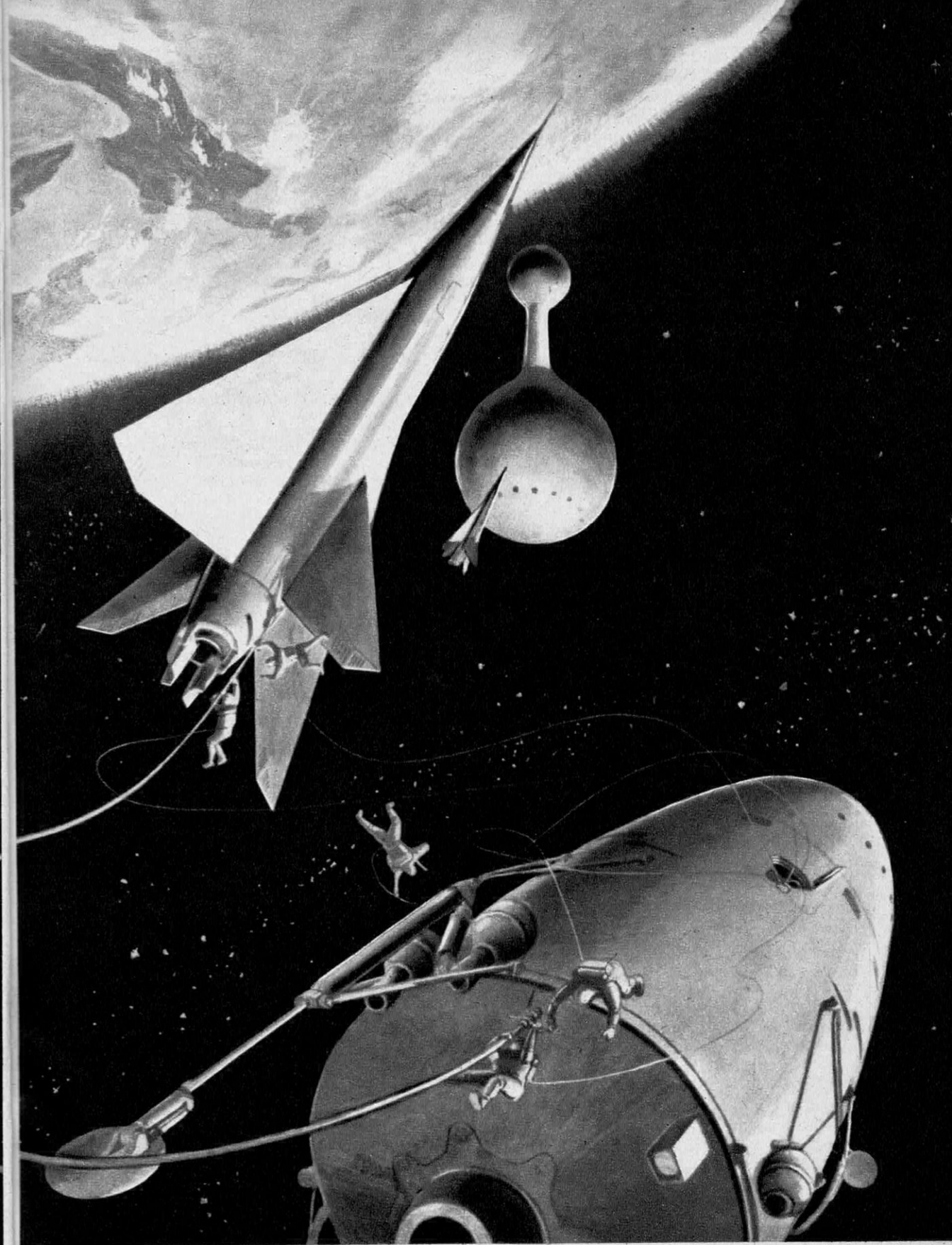
Vers les voyages EXTRA-TERRESTRES

PENDANT des siècles et des siècles, les hommes ont rêvé de conquérir l'air, de planer au-dessus des monts et des mers et de dominer la Terre. Ce rêve s'est accompli; il ne leur suffit plus. Ils songent maintenant aux espaces extra-terrestres et interplanétaires, sinon même aux espaces interstellaires. Réduit à notre globe minuscule, le monde n'apparaît plus que comme une étroite prison, dont il est temps de briser les barreaux.

D'abord, la conquête de la Lune. Notre satellite est à moins de 400 000 kilomètres, dix fois le tour de la Terre, une misère. A raison de 10 km à la seconde, vitesse astronomiquement modeste, le voyage s'accomplirait en 10 heures, l'équivalent d'une nuit de chemin de fer ou d'avion. Après la Lune, les planètes, nos proches voisins malgré tout, dans cet immense océan de l'espace, où entraînés par le Soleil, nous voguons de concert, dans une si profonde ignorance mutuelle. Et après les planètes, les étoiles ! L'imagination n'a évidemment pas de bornes.

CE DESSIN de R.A. Smith illustre les modalités, considérées désormais comme classiques, d'un voyage d'exploration sur la Lune. Au premier plan, l'astronef qui se posera sur le sol lunaire est ravitaillé en combustible par une fusée-réservoir; les astronautes qui y prennent place viennent de la station-relais, satellite artificiel de la Terre, que l'on voit à l'arrière-plan. C'est sur son orbite que se font les derniers préparatifs.





Mais il y a loin du rêve à la réalité. Il y a des degrés dans la vraisemblance des possibilités humaines, degrés que, malheureusement, nous ne saurions ni mesurer ni calculer. Nous sommes aveuglés par les conquêtes extraordinaires que la science moderne a offertes à nos yeux.

Cependant, l'immensité prodigieuse des espaces célestes n'est pas sans jeter un trouble profond dans notre conscience et le désarroi dans le sentiment que nous pouvons avoir des possibilités de l'homme dans le domaine céleste. Les astronomes nous parlent de galaxies semblables à celle qui constitue notre propre Voie Lactée et dont certaines gravitent à plusieurs milliards d'années-lumière. Des *milliards* d'années, à raison de 300 000 km à la seconde ! Cela est tellement inconcevable pour nous, qu'on peut se demander, parfois, si quelque inimaginable erreur ne s'est pas glissée dans l'interprétation des faits astronomiques qui ont conduit à de semblables résultats.

De tels domaines sont, certes, bien au delà des possibilités d'exploration des hommes.

Le domaine du système solaire

À la vérité, nul ne songe que l'homme puisse un jour visiter ces immensités, mais depuis une trentaine d'années, stimulés par les progrès bouleversants de la science, des chercheurs audacieux ont pensé que le système solaire pourrait, peut-être, en quelques-unes de ses parties tout au moins, devenir à la portée de voyages humains.

Il ne s'agit plus ici, en tant que distances, que de quelques minutes, au plus de quelques heures-lumière, c'est-à-dire de quelques dizaines ou centaines de millions de kilomètres (le Soleil est à 150 millions de kilomètres). Parmi les grosses planètes, celle qui se rapproche le plus de la Terre est la planète Vénus, dont la distance reste néanmoins supérieure à 40 millions de kilomètres ; vient ensuite Mars, qui ne se rapproche pas à moins de 55 millions de kilomètres de notre globe. Ne nous attardons pas sur les planètes plus lointaines : Jupiter à plus de 550 millions de kilomètres, Saturne à plus d'un milliard, Uranus à plus de deux milliards, Neptune et Pluton à plus de quatre milliards de kilomètres. L'étendue du système solaire est donc, en y comprenant les planètes les plus lointaines, de l'ordre de quelques milliards de kilomètres.

C'est encore beaucoup, même en se bornant à nos voisins les plus proches, Vénus

et Mars. S'il s'agissait de franchir de telles distances à la manière dont nous pouvons parcourir en tous sens l'atmosphère de notre globe par avion, ces quelques dizaines de millions de kilomètres n'auraient rien d'absolument effrayant. À raison de 1 000 km à l'heure, un avion devrait voler pendant 40 000 heures, un peu plus de 4 ans, pour atteindre Vénus, un peu plus de 6 ans pour arriver sur Mars. Du point de vue astronomique, de telles vitesses sont faibles : la Terre, par exemple, se meut autour du Soleil à raison de 108 000 km à l'heure, et les astronautes pensent que des vitesses du même ordre, par exemple 10 ou 20 km à la seconde, pourront être réalisées. Quelques mois seulement seraient alors nécessaires pour atteindre Vénus ou Mars.

La vie hors de la Terre

Des difficultés extrêmement importantes, du moins si l'on devait envisager des astronefs avec passagers, proviendraient des conditions à réaliser pour l'entretien de la vie dans ces espaces interplanétaires où règnent des circonstances physiques si différentes de celles dans lesquelles nous avons été appelés à vivre ; conditions thermiques, physiques et chimiques, luminosité, pesanteur et, non moins importantes, conditions morales de l'existence dans une ambiance si éloignée de celle à laquelle nous sommes accoutumés et si strictement attachés. D'autre part, l'espace interplanétaire est sillonné par des météorites, animées de grandes vitesses pouvant dépasser 60 km par seconde ; même très petites (la plupart des étoiles filantes ne dépassent pas quelques décigrammes), elles possèdent une énergie considérable, comparable à celle d'un projectile d'artillerie ; leur force vive, pour les très petites météorites tout au moins, serait, par le choc, presque entièrement transformée en énergie calorifique, mais elles n'en resteraient pas moins redoutables.

Les planètes

Au surplus, les planètes du système solaire diffèrent profondément de la Terre.

L'analyse spectrale a montré qu'il n'y a pas d'eau sur Vénus. Les nuages qu'on croit y observer seraient plutôt formés de fines poussières qui, en se déplaçant, donnent à la surface de la planète un aspect perpétuellement changeant. L'atmosphère ne contient pas d'oxygène ; elle serait presque entièrement constituée par du gaz carbonique. L'opinion dominante, par-

● LA TERRE Ø 12 500 km

● LA LUNE Ø 3 500 km

Distance de la Terre à la Lune 400 000 km

MARS

TERRE

VÉNUS

MERCURE

SOLEIL

Distance de la Terre au Soleil 150 millions de km

PLUTON

NEPTUNE

URANUS

SATURNE

JUPITER

Distance de Pluton au Soleil 4 milliards de km

✦ PROXIMA CENTAURI
ÉTOILE LA PLUS PROCHE

à l'étoile la plus proche 4000 milliards de km (4,2 années-lumière)

Diamètre de notre Galaxie 130 000 années-lumière

NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE

GALAXIE

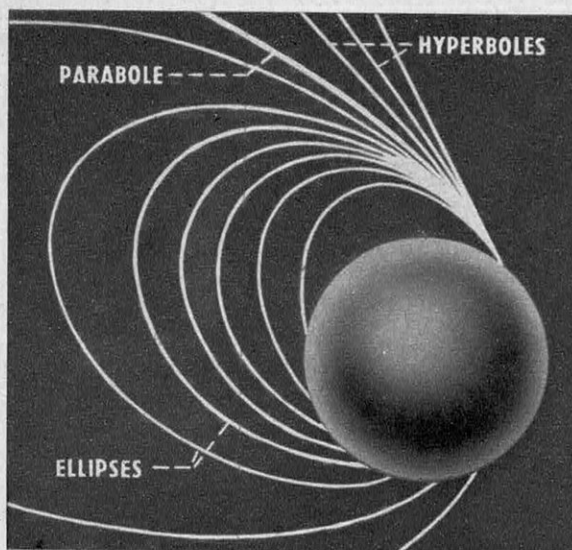
Distance de la nébuleuse d'Andromède 1 500 000 années-lumière

DIAMÈTRE DU MONDE 30 milliards d'années lumière

Les dimensions de l'Univers

Les distances qui séparent les astres sont énormes et les nombres qui les expriment perdent pour nous toute signification. Ce tableau a l'avantage, en

partant des dimensions de la Terre et de la Lune, de nous permettre de comparer des distances que nous nous représentons mal, même pour le système solaire.



← TRAJECTOIRE D'UN OBUS DANS LE VIDE

Si on néglige la résistance de l'air, un obus lancé de la Terre décrira une courbe dite « conique », ellipse, parabole ou hyperbole, ayant le centre de la Terre pour foyer. S'il s'agit d'une ellipse, l'orbite doit recouper la Terre et l'obus y retombera; dans les deux autres cas, l'obus devra s'éloigner sans retour.

UN OBUS NE PEUT DEVENIR SATELLITE →

Ici l'obus est supposé tiré dans l'atmosphère. Si sa vitesse est grande, il s'éloignera indéfiniment, sinon il retombera dans l'air où il sera freiné. Sur la figure de gauche, on a fait correspondre à chaque point du trajet réellement suivi, l'orbite fictive que parcourrait l'obus dans le vide. La distance périégée allant en décroissant pour les orbites fictives successives, l'obus, même lancé d'une certaine altitude, ne peut graviter indéfiniment. Au contraire, figure de droite, pour un projectile auto-propulsé, les distances périégées des orbites fictives croissent, donc il peut devenir un satellite artificiel.

mi les astronomes, est que Vénus présente toujours la même face au Soleil, semblable en cela à la Lune vis-à-vis de la Terre. La température, sur la face éclairée, serait de l'ordre de 50°C .

Sur Mars, l'atmosphère est très raréfiée (quelques centimètres de mercure). Elle est composée en majeure partie (98 %) d'azote avec des traces de gaz carbonique, d'argon, et peut-être aussi de vapeur d'eau. La température y est très basse, de l'ordre de -20°C .

On voit par là que ces deux planètes, nos plus proches voisines, ne se prêtent pas à une vie physiologique analogue à celle de la grande majorité des êtres qui peuplent notre globe, à la vie humaine en particulier.

Nous ne parlerons pas des autres planètes : de Mercure, dont la proximité du Soleil (58 millions de kilomètres) entretient sur la surface éclairée, sans doute toujours la même, une température très élevée de 300°C ; des planètes supérieures, telles que Jupiter, Saturne, Uranus, etc., où, au contraire, en raison de leur grand éloignement du Soleil, les températures sont extrêmement basses (moins de -100°C) et donc les atmosphères sont composées d'ammoniaque et de méthane.

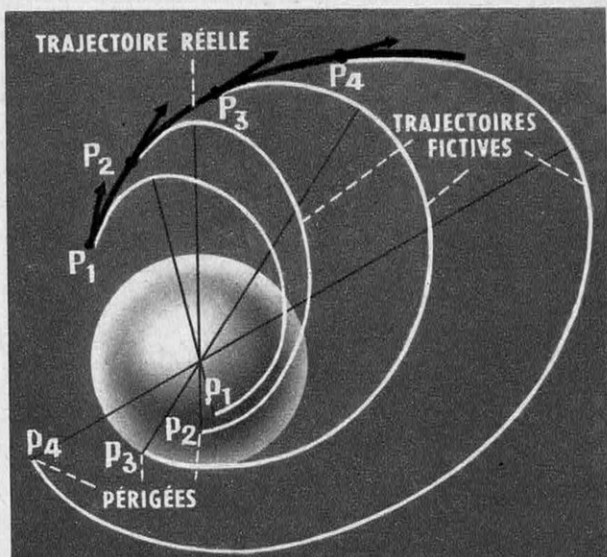
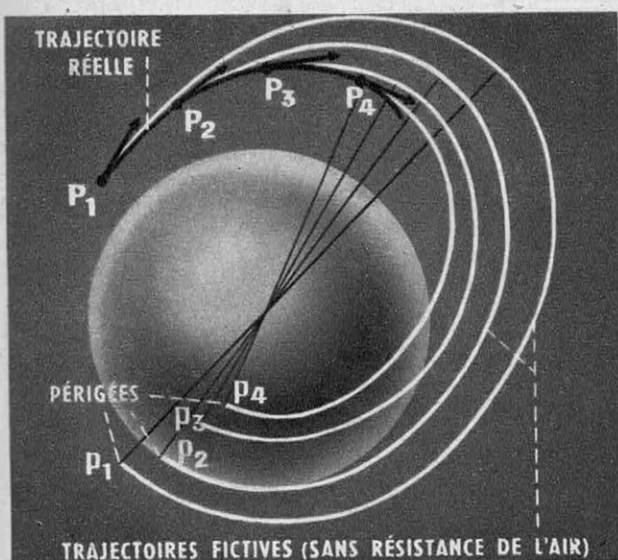
Le domaine stellaire

Quant au domaine stellaire, il n'y faut point songer. L'étoile la plus voisine de nous est à une distance 275 000 fois celle

qui nous sépare du Soleil, mais la plupart d'entre elles, celles qui constituent la Galaxie, notre patrie stellaire, sont à des distances incomparablement plus grandes, 100, 1 000, 10 000 fois plus éloignées. Et que dire alors des innombrables galaxies, autres mondes et autres patries, dont est peuplé l'espace ? Leurs distances s'évaluent par millions, par centaines de millions d'années-lumière, c'est-à-dire par des milliers et dizaines de milliers de milliards de fois la distance de la Terre au Soleil. La galaxie la plus voisine, connue sous le nom de nébuleuse d'Andromède, est encore, pour nous, 100 milliards de fois plus éloignée que le Soleil.

La Lune

Bornons-nous donc au système solaire et, dans ce domaine, allons au plus près, à notre fidèle compagne et amie la Lune, reine de nos nuits. La distance de la Lune à la Terre oscille entre 350 000 et 418 000 kilomètres, avec une moyenne de 384 000 ; une paille, comparée à l'éloignement si démesuré de tous les autres astres qui émaillent notre ciel. La plupart des aviateurs de carrière ont parcouru des distances bien supérieures ; 350 heures de vol à 1 000 km à l'heure suffiraient pour franchir cette faible distance. La lumière ne met guère plus d'une seconde pour nous en parvenir, tandis qu'il lui faut déjà 8 minutes pour nous arriver du Soleil. D'ailleurs, grâce au radar, l'homme a, pour ainsi dire, déjà pris contact avec la Lune, puisqu'il a dirigé



vers elle des ondes radioélectriques dont il a pu noter le retour sur notre globe.

La Lune est un globe dont le diamètre est moins du tiers de celui de la Terre; la pesanteur n'y est, à la surface, que le $1/6$ de la pesanteur terrestre. Un homme y deviendrait d'une extrême légèreté et, avec la puissance normale de ses muscles, pourrait y exécuter des bonds d'une prodigieuse ampleur. On sait, d'autre part, qu'aucune atmosphère n'existe à sa surface; des travaux récents ont montré que, s'il en existait des traces, la pression y serait inférieure à un millionième de l'atmosphère terrestre.

C'est donc vers la Lune que les astronautes dirigent leurs regards. Mais nous sommes encore bien loin du but et, indépendamment des questions d'énergie propulsive, se posent d'autres problèmes très graves, surtout si le but poursuivi comporte le transport de passagers.

Astronomes et balisticiens ont mis en chantier l'étude d'un problème beaucoup plus modeste. Ils se sont demandé s'il ne serait pas dans nos possibilités actuelles de créer des satellites artificiels de la Terre, beaucoup plus voisins que la Lune. Pour certains, ces satellites pourraient même être utilisés comme relais ou stations d'étapes, et servir de bases pour la poursuite de voyages plus lointains, notamment vers la Lune. Mais jusqu'à nouvel ordre, ils ne doivent servir que d'observatoires en ce qui concerne les événements physiques, ou autres, survenant à la surface de notre globe ou à son voisinage. Emprisons-nous

d'ajouter que, on le verra plus loin, il n'y aurait sur de tels satellites, de dimensions comparativement minuscules et soumis aux seules forces de gravitation, aucune pesanteur apparente; de ce fait, tout séjour humain y serait peut-être impossible.

Les satellites artificiels de la Terre

La première idée qui vient à l'esprit pour la création éventuelle de satellites artificiels, est de lancer des projectiles à partir de la surface terrestre. On peut penser qu'en les animant d'une vitesse initiale suffisamment élevée, ils pourraient se transformer en satellites permanents. C'est là une idée erronée.

Supposons un instant la Terre dépourvue d'atmosphère, et qu'à partir de sa surface on lance un projectile. Celui-ci est soumis à la seule force attractive de la Terre, dirigée vers son centre. D'après les lois de Képler et de Newton, il décrit une orbite elliptique, ou hyperbolique: ellipse, si la vitesse initiale est inférieure à 11 km par seconde, branche d'hyperbole si elle lui est supérieure. Dans ce dernier cas, le mobile s'éloignera indéfiniment de la Terre, ce qui exclut toute idée de satellite permanent. Si la trajectoire est une ellipse, qui est une courbe fermée, le projectile devrait repasser par le point de départ, avec la même vitesse, en valeur et direction; il en sera empêché, parce qu'il heurtera auparavant la surface du sol.

En réalité, la Terre est entourée d'une atmosphère. Cette circonstance ne fait que

renforcer la conclusion précédente, à savoir impossibilité, par simple lancement d'un projectile, d'obtenir un satellite permanent.

Voici de quelle manière on peut s'en rendre compte. D'abord, il est de toute évidence qu'un satellite permanent ne saurait évoluer qu'en dehors de l'atmosphère terrestre, sans quoi il serait soumis, de la part de celle-ci, à un freinage continu qui, finalement, entraînerait sa chute sur le sol.

Le projectile lancé de la Terre

Supposons donc un projectile lancé d'un point de la surface, ou même, plus généralement, d'un point de l'atmosphère. Sous l'action de la force attractive terrestre et de la résistance de l'air, il suivra une certaine trajectoire. Considérons un point quelconque de celle-ci et imaginons qu'en ce même point, au même instant et avec la même vitesse, passe un mobile fictif soustrait à la résistance de l'air et subissant seulement l'effet de l'attraction terrestre. Sa trajectoire serait, par rapport au centre de la Terre, elliptique ou hyperbolique, et le point de cette trajectoire fictive le plus rapproché du centre de la Terre, le « péri-gée », serait à une certaine distance du centre de la Terre. A chaque point de la trajectoire réellement décrite, nous pouvons ainsi faire correspondre une distance péri-gée de la trajectoire fictive du mobile correspondant. L'effet de la résistance de l'air sur le projectile réel est que cette distance péri-gée va constamment en diminuant. Lorsque le projectile sort de l'atmosphère, la résistance de l'air disparaît; la trajectoire réelle coïncide alors avec la trajectoire du mobile fictif que nous avons imaginé, mais la distance péri-gée est devenue plus petite que la distance péri-gée à l'instant du lancement, elle-même nécessairement inférieure (ou au plus égale) à la distance du point de lancement au centre de la Terre.

Donc, à la sortie de l'atmosphère, ou bien le projectile a une vitesse suffisante pour décrire une branche d'hyperbole et il s'éloignera indéfiniment de la Terre, ou bien il décrira une trajectoire elliptique qui le ramènera de nouveau dans l'atmosphère où il sera freiné à nouveau, pour tomber finalement sur le sol.

Propulsion hors de l'atmosphère

Il y a donc impossibilité absolue de créer des satellites permanents de la Terre par simple projection de mobiles à partir, soit de sa surface, soit de points situés dans

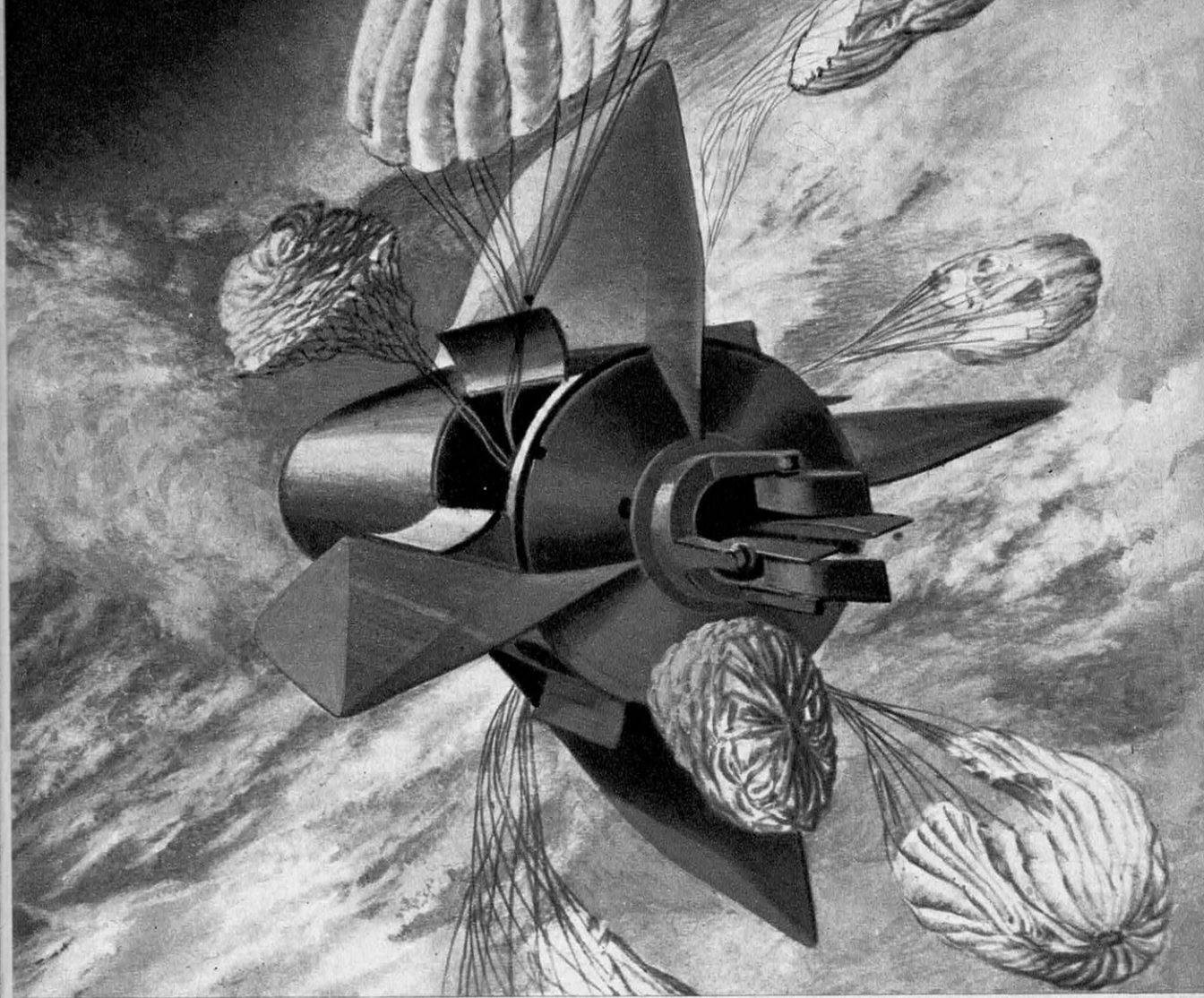


Abandonnant son premier étage que

l'atmosphère. Pour y parvenir, il faut avoir recours à des projectiles autopropulsés, au moins temporairement, la propulsion devant nécessairement s'appliquer, ou s'étendre, sur une certaine partie du parcours *en dehors de l'atmosphère*.

Que signifie d'ailleurs le terme « sortie de l'atmosphère » ? L'atmosphère n'est pas limitée par une barrière définie; elle s'étale au contraire d'une manière continue jusqu'à des altitudes considérables, de l'ordre de mille kilomètres et plus, ainsi qu'il résulte de l'observation des aurores boréales; à de telles altitudes toutefois, elle devient extrêmement ténue.

L'effet d'une propulsion sur un mobile est en quelque sorte l'inverse de celui d'une



(Dessin de R. A. Smith)

des parachutes ramèneront au sol, l'astronef s'élance vers les astres.

résistance. Si nous revenons à la considération précédente d'un mobile fictif attaché à chaque position sur la trajectoire d'un projectile réel, le même procédé de démonstration indique que la distance périgée est *croissante* tant que dure la propulsion (dans une propulsion dans l'air, la force propulsive devrait être cependant supposée supérieure à la résistance de l'air). La distance périgée, initialement inférieure au rayon limite de l'atmosphère, ou ce que nous considérons comme tel, peut lui devenir supérieure. Si la propulsion est arrêtée à ce moment (en dehors de l'atmosphère) et si la trajectoire est elliptique (et non hyperbolique), on aura réalisé un satellite permanent.

Mais, en fait, ceci, en dehors même de toute hypothèse sur la puissance des moyens balistiques ou propulsifs dont on peut disposer, n'est pas simple quant aux réalisations pratiques.

Prenons le projectile, au moment où la propulsion vient de cesser (en dehors de l'atmosphère nécessairement, on l'a vu), le projectile étant abandonné à la seule force de gravitation. Quand nous parlons de satellites artificiels de la Terre, nous pensons à des satellites évoluant à des distances relativement faibles de notre globe, à quelques milliers de kilomètres de sa surface, par exemple.

D'abord, pour que la trajectoire soit elliptique, la vitesse doit être *inférieure* à une

certaine valeur qui, de 11 km/s à la surface de la Terre, varie ensuite comme l'inverse de la racine carrée de la distance au centre; si celle-ci était de 13 000 km par exemple, le double du rayon terrestre, cette vitesse limite serait donc d'environ 7,8 km/s.

Mais d'autre part, la distance minimum au centre de la Terre, ou distance périégée, de la trajectoire que doit suivre le satellite, doit dépasser le rayon terrestre de toute la hauteur de l'atmosphère.

Précision du lancement

Une théorie, que nous ne saurions développer ici, montre que si le satellite est relativement voisin de la Terre, à moins de deux rayons terrestres, par exemple, l'angle que doit faire la vitesse avec le rayon vecteur (c'est-à-dire avec la droite allant du centre de la Terre au satellite) doit être compris entre 50 et 90°, avec des limites plus resserrées si la distance du satellite est moindre (pour 2 000 km d'altitude, cet angle devrait être compris entre 70 et 90°). Enfin, si l'on devait exiger que la trajectoire fût un cercle, la vitesse devrait être, d'une part normale au rayon vecteur, d'autre part avoir une valeur exactement déterminée, en fonction de la distance du centre de la Terre au satellite (1).

La réalisation de ces diverses conditions est assez délicate. Pour un projectile lancé du sol, il s'agit de combiner exactement les données de la projection initiale et de la propulsion consécutive indispensable, pour obtenir, après la traversée de l'atmosphère et arrêt de la propulsion à une certaine distance au delà, un état cinématique assez strictement défini, tout au moins si le but à atteindre est la réalisation de satellites rapprochés de la Terre.

La propulsion peut être enfin conçue, non plus sous la forme d'une action propulsive appliquée au mobile tout entier, mais sous celle d'un projectile secondaire, transporté par le projectile initial, et s'en détachant, au delà de l'atmosphère, sous l'effet d'une nouvelle déflagration. L'opération est très délicate, mais avec des projectiles radioguidés et des radars pour en contrôler les trajectoires, la solution du problème est devenue plus aisée.

Quant à la durée de révolution autour

(1) Cette vitesse doit être de $7,8 \sqrt{\frac{R}{r}}$ km/s, R désignant le rayon terrestre et r la distance du satellite au centre de la Terre.

de la Terre, elle serait à peine de quelques heures pour des satellites pas trop éloignés (1). A une altitude de 6 370 km, elle serait de l'ordre de 4 heures.

Le satellite et l'astronomie

L'existence de tels satellites présenterait un intérêt astronomique certain. La Terre n'étant pas exactement sphérique, le mouvement képlerien de ces satellites en serait troublé; leur observation pourrait conduire à certaines indications sur la constitution physique de notre globe.

Enfin, un autre point de vue intéresserait la théorie de la relativité. Celle-ci prévoit, en ce qui concerne les planètes, un déplacement lent et progressif de leur périhélie, mais qui n'est guère sensible que pour Mercure, à raison de 43" d'arc par siècle. Un phénomène analogue devrait se produire pour des satellites rapprochés de la Terre, mais avec une amplitude beaucoup plus grande, par conséquent plus aisément observable. Pour un satellite passant à une distance du centre de la Terre égale à une fois et demie son rayon, c'est-à-dire à 3 000 km de la surface, l'avance annuelle serait de l'ordre de 6", soit 14 fois plus grande que l'avance correspondante de la planète Mercure dans son orbite autour du Soleil. Dans tous les cas, ce déplacement annuel du périégée serait limité et ne saurait dépasser 16".

Mouvement d'un astronef dans les espaces célestes

La digression qu'on vient de développer sur les satellites artificiels de la Terre nous a éloignés des problèmes si divers qui se posent au sujet du mouvement d'un astronef dans les espaces célestes, ce qui constitue, en fait, la préoccupation majeure des astronautes. Nous laisserons de côté ici toutes les questions se rattachant aux moyens de propulsion qui sont à envisager.

Deux circonstances se présentent dans l'étude du mouvement d'un projectile ou d'une nef dans l'espace, suivant que le mobile est abandonné aux seules forces de gravitation, toujours présentes, ou qu'il

(1) La durée de révolution est donnée en heures par la formule $T = 1,42 \left[\frac{p}{R(1-e)} \right]^{\frac{3}{2}}$ où p est la distance périégée, R le rayon terrestre (6 370 km), e l'excentricité de l'orbite (nulle dans le cas du cercle). La vitesse au périégée est donnée en kilomètres par seconde par $v = 7,84 \sqrt{\frac{R(1+e)}{p}}$.

comporte, en plus, des forces propres de propulsion, avec alternatives possibles dans leur emploi.

Prenons d'abord le premier cas. Le mobile se meut sous le seul effet des forces de gravitation, c'est-à-dire des forces attractives des corps célestes qui peuplent l'espace : Soleil, planètes, Lune, etc.

Disparition de la pesanteur

Supposons le mobile constitué comme une sorte de navire, à l'intérieur duquel pourraient éventuellement se trouver des observateurs. Une proposition fondamentale est à la base de cette question, à savoir que, pour de tels observateurs, tout se passe comme si la pesanteur avait totalement disparu. Il n'y aurait plus, pour eux, ni haut, ni bas. En équilibre dans toutes les positions, ils seraient en état de complet flottement. Ils ne pourraient se rapprocher des parois, ou les uns des autres, qu'au moyen de gaffes, à la manière des marinières, ou peut-être par des dispositifs magnétiques ou électromagnétiques. Sièges, tables, lits deviendraient des meubles sans objet. Tous les mouvements que nous avons l'habitude d'exécuter seraient suivis d'effets inattendus et quelque peu ridicules, tels les gestes ou contorsions désordonnés de patineurs inexpérimentés se débattant sur un champ de glace, ou encore de parachutistes dans les premiers instants de leur chute. Changer d'attitude, se retourner, deviendraient des problèmes des plus laborieux. Il faudrait, pour le faire, s'inspirer, et ce ne serait pas facile, des manœuvres exécutées instinctivement par les chats pour, dans une chute, retomber sur leurs pattes. Les lits seraient sans utilité ; dormir sur le côté gauche ou sur le côté droit, ou sur le dos, n'aurait aucun sens.

Les repas seraient une source de difficultés nouvelles. Il ne saurait être question d'utiliser des verres pour boire ou des cuillères pour absorber un potage. Les liquides seraient d'un maniement difficile. La digestion serait sans doute possible en raison des mouvements péristaltiques de l'intestin. Possibles aussi, probablement, les fonctions attachées à des phénomènes d'osmose ou de chimie biologique.

Déséquilibre de l'organisme

Il est maintenant une circonstance grave sur laquelle il est difficile d'être bien réellement fixé. La pesanteur et notre notion instinctive de la verticale jouent un rôle

fondamental dans tous les actes de notre vie physiologique. L'existence de la gravité a nécessité, chez les êtres vivants, la création d'organes destinés à les renseigner sur la stabilité ou l'instabilité de leur équilibre. Les canaux semi-circulaires de l'oreille interne paraissent jouer, à cet égard, un rôle primordial. Leur lésion engendre de violents vertiges, particulièrement pénibles.

Lorsqu'il n'y a plus de pesanteur, lorsque l'espace est vide de tout champ de forces, quel peut être le sort des organes d'équilibre ? En plein désarroi, les sensations physiologiques correspondantes doivent engendrer un malaise indéfinissable et un vertige auquel l'organisme ne saurait résister longtemps.

L'expérience ne fournit que peu de renseignements à ce sujet, car il est impossible, dans des expériences terrestres, de se soustraire longtemps à la pesanteur. On pourrait penser retirer quelques indications des impressions recueillies chez les parachutistes s'élançant de hautes altitudes dans le vide, pour n'ouvrir leur parachute qu'à une distance assez rapprochée du sol. Il n'en est rien, car la chute n'a l'apparence d'une chute libre que pendant un instant très court. Après une dizaine de secondes, sous l'action croissante de la résistance de l'air, la vitesse devient constante et la pesanteur reprend son plein effet.

L'excès de pesanteur

S'il est difficile de connaître expérimentalement les effets organiques de l'absence de gravité, par contre, on est assez bien fixé actuellement sur ceux d'un excès de pesanteur. Les aviateurs, au cours de virages exécutés à grande vitesse, sont soumis à des forces centrifuges (équivalentes à une pesanteur artificielle) pouvant dépasser très notablement la pesanteur terrestre g . Lorsque cette pesanteur, qualifiée aussi d'accélération, dépasse plusieurs fois g , lorsqu'elle atteint ou dépasse $4\ g$, par exemple, apparaissent, chez l'aviateur, les « voiles noirs » ou « rouges », signes précurseurs d'une syncope imminente, devenant rapidement mortelle si elle se prolonge. On a réussi à pallier dans une certaine mesure ces inconvénients au moyen d'appareils pneumatiques enserrant le corps et s'opposant, avec quelque efficacité, aux troubles de la circulation. Des dispositifs mécaniques ont été créés, pour étudier à terre ces divers effets physiologiques. Nous n'entrerons pas dans des détails à ce sujet, qui relève d'une science médicale spéciale,

en étude dans les centres aéronautiques.

Quelques remarques toutefois ne paraissent pas inutiles.

Les effets observés sur un système comportant des liaisons intérieures proviennent du fait que les variations ou anomalies des forces extérieures auxquelles il est soumis, ou seulement certaines d'entre elles, n'affectent pas directement, également et simultanément, tous les points matériels du système (que celui-ci, du reste, soit en mouvement ou au repos); d'où des réactions internes plus ou moins vives, par altération des forces de liaison.

Tel est le cas d'un aviateur, par exemple, serré contre son siège par la force centrifuge. Si celle-ci est modifiée, elle continue bien à agir sur tous les points de son corps, mais les forces de réaction de son siège (forces extérieures) ou leurs variations, n'ont d'action directe que sur les éléments en contact avec lui, sans répartition uniforme sur tous les points matériels dont son corps est constitué, et qui deviennent ainsi l'objet de réactions mutuelles indirectes, par suite, de troubles plus ou moins accusés.

Les forces de gravitation

Il en est très différemment lorsque toutes les forces extérieures appliquées au système affectent directement, simultanément, parallèlement et proportionnellement à leur masse, toutes les molécules qui le composent. Aucun effet n'est alors observé.

Si l'on imaginait qu'un corps tombe dans le vide, en chute libre, et qu'à un instant donné, la pesanteur devienne brusquement cent fois plus grande, aucun effet ne serait constaté, malgré la très forte accélération à laquelle serait soumis le système.

Si on pouvait supposer de même que, dans un canon, la force propulsive, au départ, s'applique simultanément à toutes les molécules du système projeté, proportionnellement à leur masse, aucun effet ne serait davantage ressenti. C'est parce qu'il n'en est pas ainsi que les effets de réaction des seuls points directement atteints par les forces de propulsion sur les autres points indirectement entraînés par eux engendrent, au sein du système, des actions mécaniques plus ou moins violentes.

Ainsi doit-on établir une différence profonde entre les forces de gravitation, qui atteignent directement la matière dans son intimité la plus reculée, et les forces dynamiques qui se traduisent uniquement par de pures réactions mécaniques, de contact ou de pression, des molécules les unes sur

les autres. C'est la raison, en définitive, pour laquelle, à l'intérieur d'un système en mouvement sous l'action de seules forces de gravitation, tout effet d'accélération disparaît, et qu'il n'existe plus de pesanteur apparente.

La pesanteur apparente

Qu'advient-il à l'intérieur d'un astronef, lorsque celui-ci est soumis à d'autres forces, en plus des forces de gravitation, à des forces de propulsion notamment ?

Ici encore, une proposition fondamentale est à formuler. Une pesanteur apparente prend naissance alors à l'intérieur du système mobile, et sa définition est simple.

Si l'on désigne par R la résultante des forces (ou plus exactement la résultante géométrique des vecteurs qui les représentent) (1), appliquées à l'ensemble du système (autres que les forces de gravitation), il existe, à l'intérieur du mobile, une pesanteur apparente, de *direction opposée* à R , et d'intensité égale à $\frac{R}{M}$, M étant la masse du système mobile. Si la résultante est nulle, il n'y a plus de pesanteur apparente, ainsi qu'on l'a déjà vu.

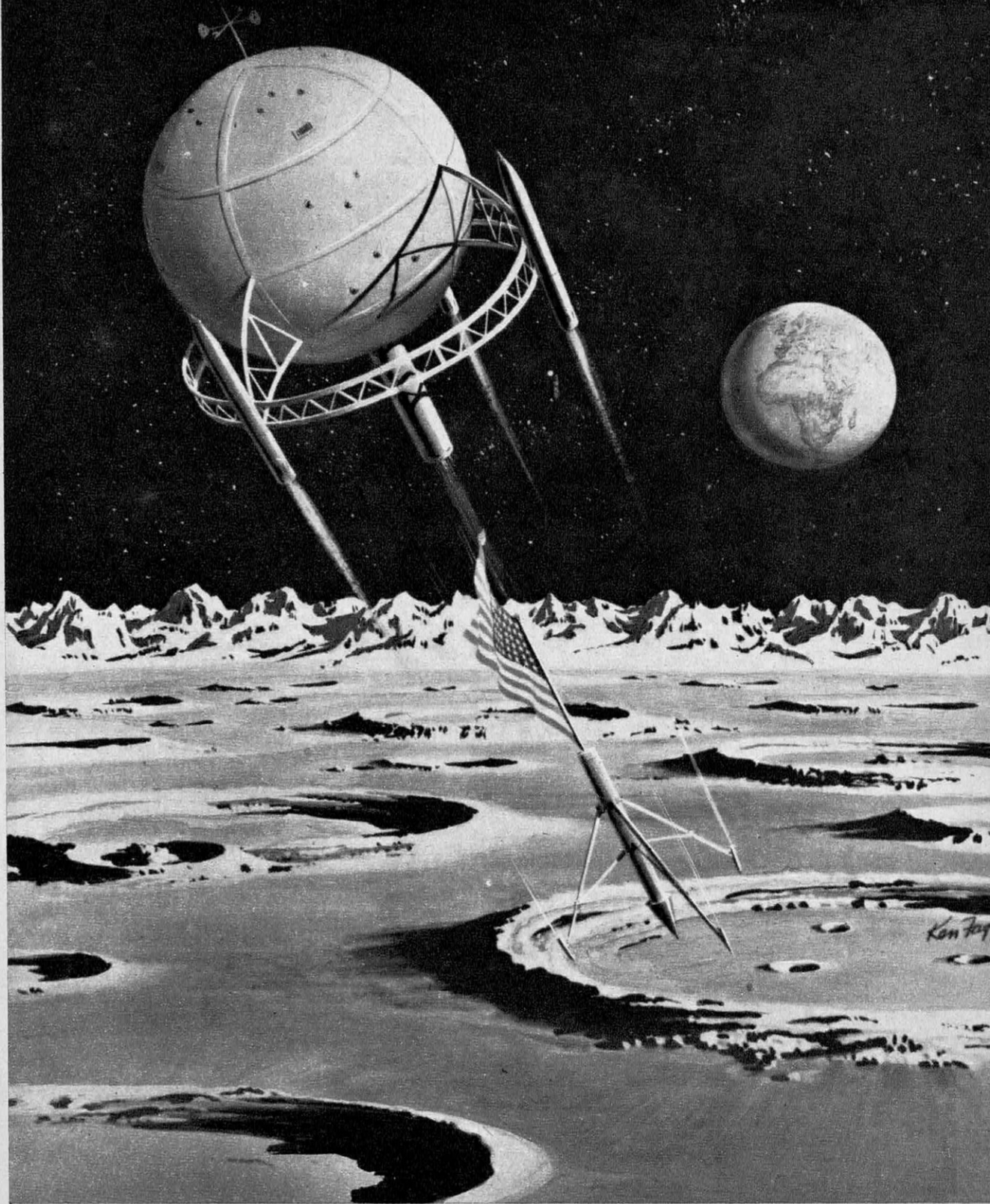
Si, sous l'effet de forces extérieures appropriées, le mobile se meut en ligne droite à vitesse constante, le champ intérieur coïncide avec le champ de gravitation ambiant.

Prenons un exemple simple, celui d'un projectile d'artillerie évoluant dans l'air. Il est soumis d'une part à la pesanteur terrestre (force de gravitation) et à la résistance de l'air, *opposée à la vitesse*. Il existe donc, à l'intérieur du projectile un champ de forces (pesanteur apparente) dirigé *dans le sens de la vitesse*, égal, en intensité, au quotient de la résistance par la masse du projectile.

(1) Ces forces pourraient n'avoir pas de résultante unique, c'est-à-dire constituer un couple. La présence d'un couple n'aurait d'autre effet qu'une rotation du système sur lui-même.

LA COURSE A LA LUNE

Tel est, selon la revue américaine « National Science Magazine », le premier pas qui permettra aux États-Unis d'obtenir un contrôle international de l'espace interplanétaire et des futurs satellites de la Terre. La conquête de la Lune ne se bornera pas à un lancement symbolique. Qui atteindra le premier sa surface ?



Dans le projectile imaginé par Jules Verne, dans son « Voyage de la Terre à la Lune », les passagers auraient pu marcher au plafond de leur projectile, dans la traversée de l'atmosphère terrestre. Jules Verne n'avait pas davantage prévu, du reste, que ses passagers, après la sortie de l'atmosphère, auraient été en état de complet flottement, par absence de toute pesanteur apparente.

Projectile autopropulsé

Prenons maintenant le cas d'un projectile ou d'un astronef propulsé. Nous avons vu qu'il règne à l'intérieur du système une pesanteur apparente égale au quotient de la force de propulsion par la masse du projectile. Si l'on exigeait d'imposer à cette pesanteur apparente une valeur comparable à la pesanteur terrestre, pour assurer à des passagers éventuels une vie physiologique normale, il en résulterait pour l'astronef une accélération totale égale à la somme géométrique de l'accélération d'autopropulsion et de l'accélération due au champ de gravitation. Or, loin du Soleil et du voisinage immédiat des planètes, ce champ de gravitation a une valeur très faible, comparée à la pesanteur terrestre, g . Ainsi à une distance égale à celle de la Terre au Soleil, le champ attractif solaire n'est que les $6/10\ 000$ de g . L'accélération totale serait donc, en intensité, très voisine de g et en permanence. Si la trajectoire suivie n'avait qu'une faible courbure, ligne droite par exemple, une telle condition conduirait rapidement à des vitesses prohibitives. Dans un voyage de la Terre à la Lune, on arriverait au voisinage de notre satellite avec une vitesse de l'ordre de 90 km/s , le voyage s'effectuant en $2\text{ h }30\text{ mn}$.

Pesanteur artificielle

D'autres moyens pourraient être envisagés pour créer une pesanteur apparente à l'intérieur d'un astronef. En premier lieu, la création d'une force centrifuge par rotation du système sur lui-même. Ce procédé entraînerait une variation très rapide de la direction de la pesanteur apparente et un défaut très marqué d'uniformité à l'intérieur du système, ce qui risquerait de provoquer des vertiges intolérables.

Une autre méthode, toujours dans l'hypothèse d'une propulsion maniable en intensité et direction, consisterait à se diriger vers le point à atteindre, non plus suivant une trajectoire à faible courbure, mais suivant une trajectoire en quelque sorte *hélicoïdale*

et avec une vitesse qui pourrait même être sensiblement constante. A une vitesse de giration de 10 km/s , il suffirait d'un diamètre de giration de $20\ 000\text{ km}$, trois fois le rayon de la Terre, pour créer une pesanteur apparente voisine, en intensité, de la pesanteur terrestre; elle serait uniforme dans l'étendue de l'astronef. Une giration complète s'effectuerait en deux heures environ, de sorte que le changement de direction de cette pesanteur serait presque insensible et peu gênant au point de vue physiologique.

L'appréciation du mouvement

Dans un astronef en état de propulsion, il serait facile d'apprécier la direction, par rapport à lui, de la force propulsive, puisque celle-ci engendre, à l'intérieur, une pesanteur apparente, directement sensible.

La direction du mouvement et la vitesse de l'astronef constitueraient, par contre, des éléments de détection plus difficile par l'absence de points immédiats de comparaison. Sans doute aurait-on la vision des astres, mais relativement si éloignés que les changements de perspective seraient trop lents pour servir d'éléments d'appréciation. Seules, la Lune et la Terre, si on n'en restait pas trop distant, et, à un degré moindre, les planètes et le Soleil, pourraient être utilisés, si l'on demeurait dans leur voisinage.

Les progrès dans l'emploi du radar pourraient faciliter ces opérations qui demeureraient néanmoins d'une application lente et assez peu précise.

Tout cela montre, sous l'aspect particulier examiné ici, parmi tant d'autres, les multiples difficultés que pourrait comporter la navigation astronautique. Par surcroît, une telle navigation, dans des domaines si différents de ceux assignés à notre existence normale, constituerait un dépaysement si extraordinairement démesuré qu'on peut se demander si le moral et la raison des passagers qui s'y seraient aventurés, ne sombreraient pas dans un abîme d'angoisse et d'épouvante.

Peut-être pourra-t-on, dans un avenir pas tellement éloigné, lancer des projectiles sur la Lune. Quant à y transporter des passagers humains sur des navires interplanétaires, en y assurant des conditions compatibles avec leur existence, il y a là un fossé profond qui, sans doute, n'est pas près d'être comblé.

Ernest ESCLANGON †

Ancien Directeur honoraire de l'Observatoire de Paris.
Ancien Président de l'Académie des Sciences.



Gravure du XV^e siècle exprimant sous une forme naïve la curiosité humaine, origine de l'astrologie, de l'astronomie comme de toutes les spéculations astronautiques.

L'ASTRONAUTIQUE

les étapes d'une science nouvelle

COMME l'Astronomie, l'Astronautique naquit de la contemplation du ciel. Mais alors que l'Astronomie fut, durant des millénaires, l'apanage des hommes de science (ou du moins de prétendue science lorsqu'il n'était question encore que d'astrologie), l'Astronautique fut le domaine des rêveurs à l'imagination féconde.

Loin de se contenter d'une sage et sereine contemplation des astres, ils ne songeaient à rien de moins qu'à s'y transporter en personne ou à y conduire leurs héros. De là, une profusion de légendes et de contes qui sont pour nous comme autant de témoignages précieux de cet insaisissable rêve.

Les précurseurs de l'ère astronautique

Ces récits ne sont qu'un tissu de fantaisies, mais lorsque le XVII^e siècle, par la découverte de la lunette, ouvrit des horizons jusque-là insoupçonnés sur les autres terres du ciel, il suscita chez de nombreux



Les habitants des autres planètes vus par des Terriens

Luniens: (A), dans le baron de Münchhausen; (C), d'après le faux Herschel; (B) et (D), savant et guerriers, selon Wells. Vénusiens: (E), selon Graftigny. Mercuriens: (F), d'après une gravure du XVIII^e siècle; (G), selon Goldberg. Martiens: (H) et (I), d'après Wells; (J), imaginés par Hugo Gernsback.

auteurs le désir de transposer le rêve impossible en rêve plausible.

A partir de cette époque les récits de voyages vers les planètes sont étayés par des données plus scientifiques, et on préfère dans bien des cas recourir à la mécanique, science qui vient de naître, plutôt qu'à des interventions surnaturelles.

Après Wilkins qui, en Angleterre, fait paraître deux importants volumes sur « Les nouvelles considérations sur les planètes », Cyrano de Bergerac publie en 1649 son « Voyage dans la Lune ».

Jamais gasconnade ne fut plus profitable à l'Astronautique. Les récits se multiplient sur le sujet. Le génial Newton, poussé sans doute dans cette voie par les récits de Cyrano, envisage la réalisation d'un navire cosmique mû par réaction; Kindermann propose le plus sérieusement du monde la création d'un gigantesque ballon « empli » de vide, capable de transporter cinq personnes non plus sur la Lune, jugée sans doute trop fréquentée, mais sur l'un des satellites de Mars. Et, vers la fin du XVIII^e siècle, un récit nous conte l'histoire de Mercuriens venant nous rendre visite dans des engins mus par l'électricité.

Le XIX^e siècle et le début du XX^e siècle, qui préparent l'ère de l'Astronautique, nous montrent des auteurs en proie à une véritable « psychose cosmique », rivalisant de zèle et d'imagination.

Inventions gratuites...

En 1901, Wells imagine la *cavorite*, capable, dit-il, de soustraire à l'attraction universelle tout corps qui en est enduit. Cette

hypothétique et précieuse matière lui permet de concevoir un engin constitué exclusivement de fenêtres pouvant être masquées par des stores qui en sont enduits. Pour se déplacer à sa guise dans l'espace cosmique, il suffit de démasquer l'une des fenêtres pour être immédiatement attiré dans la direction désirée.

Lasswitz (1897) envisage un écran « négatif » susceptible d'être repoussé vers l'espace par une pluie atomique d'origine cosmique et venant le frapper après avoir traversé la terre. A. Galopin (1908) nous parle de la *répulsite*, substance aux propriétés merveilleuses, dont la découverte était due au Dr Oméga.

...et imaginations délirantes

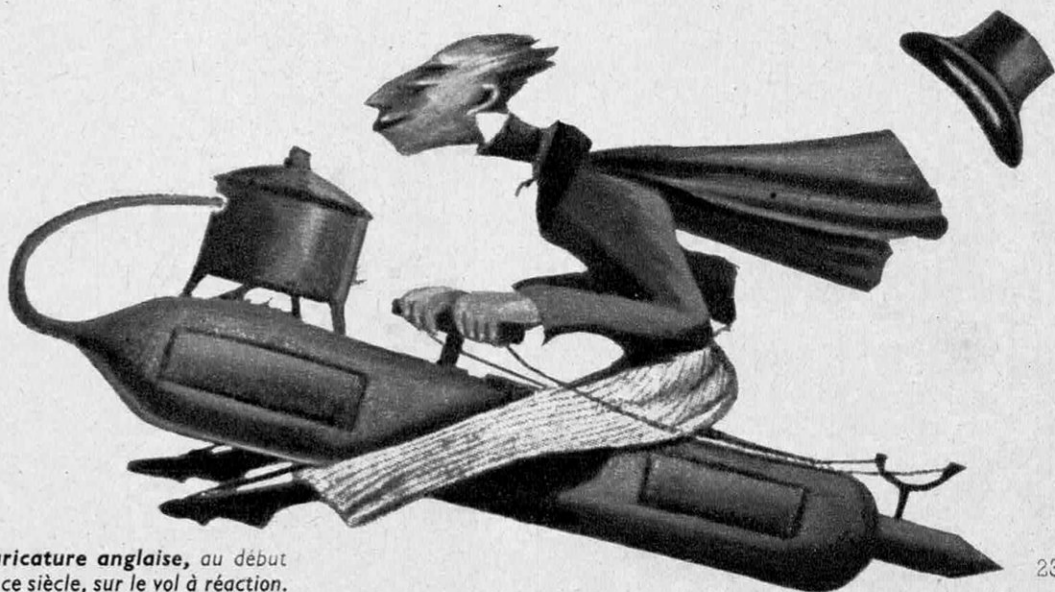
La « force vibratoire de l'éther », l'utilisation de rayonnements inconnus et même l'action supposée de l'esprit sur la matière inspirèrent des auteurs qui voulaient à toute force asservir une science balbutiante et délirante à leurs ambitions astronautiques.

Ainsi, Krijanowsky (1910) trouve le moyen de décomposer et de regrouper les atomes de la matière et d'amplifier leur « action » par la pensée.

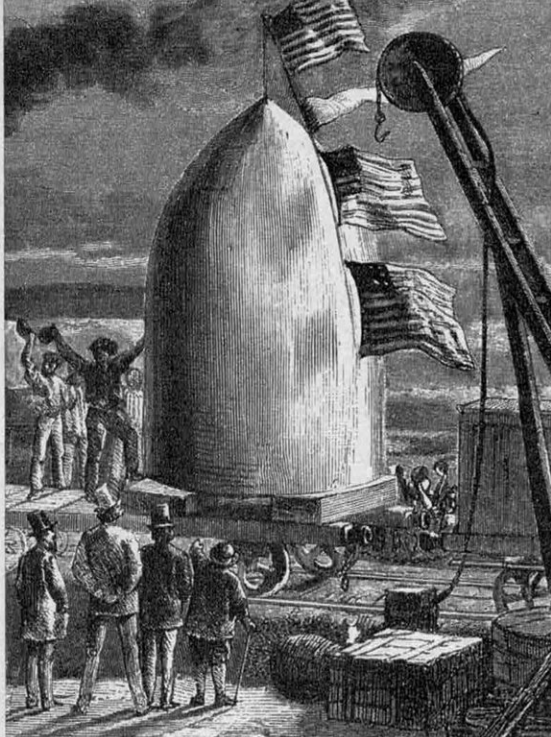
Arelsky (1925) prête aux Martiens le pouvoir de créer l'*aérolisle*, sorte de planète en « modèle réduit », pourvue d'une atmosphère et dirigée par une énergie puisée dans le soleil.

Gontcharov (1924) met en conserve les rayons solaires après les avoir pressés, condensés et versés dans des ballonnets.

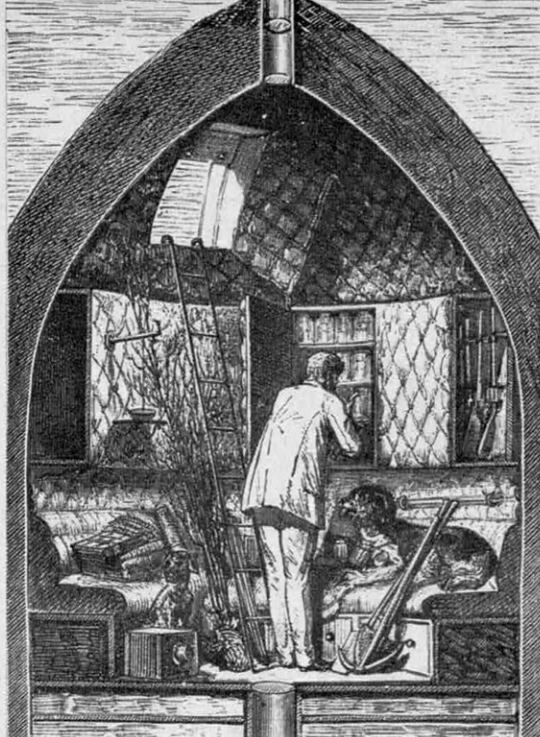
G. Le Rouge (1927) songe à un condensateur d'énergie fourni par la concentration de la pensée de tous les fakirs de l'Inde !



Caricature anglaise, au début de ce siècle, sur le vol à réaction.



Les préparatifs du voyage



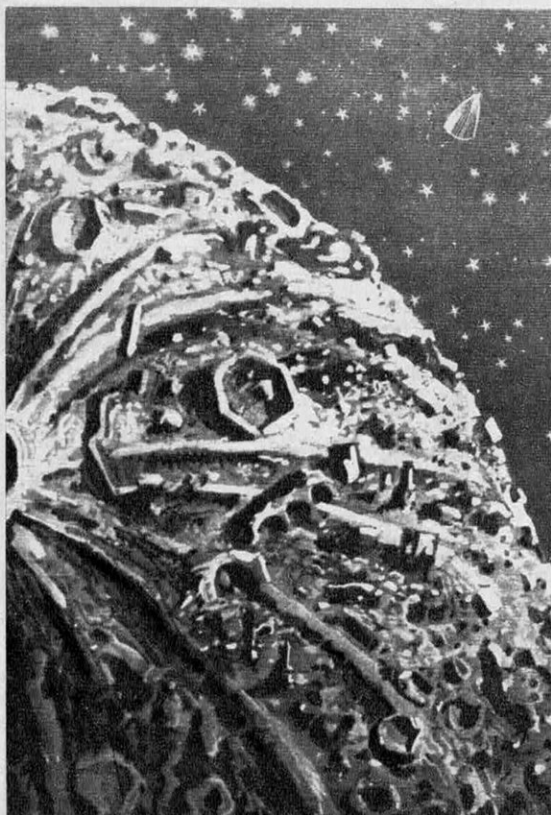
La cabine capitonnée de l'obus

De la Terre à la Lune

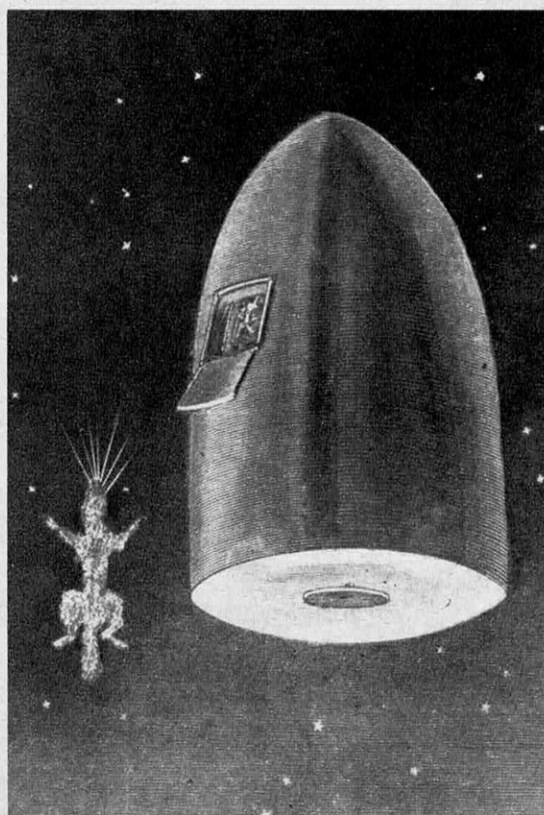
JULES VERNE a le premier essayé de faire un récit plausible de voyage extra-terrestre. Pour cela, il n'a mis en œuvre que des techniques connues à son

époque, en les « extrapolant » à un voyage lunaire. Malgré un grand nombre de détails exacts et malgré des calculs qui donnent un semblant de base scienti-

La Lune selon l'un des astronautes



Les objets jetés accompagnent l'obus





L'obus s'élance vers la Lune



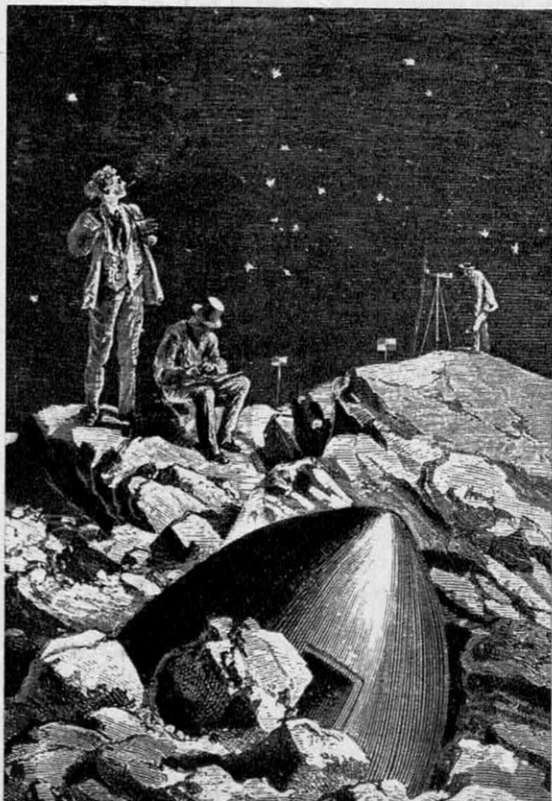
L'annulation de la pesanteur

avec Jules Verne

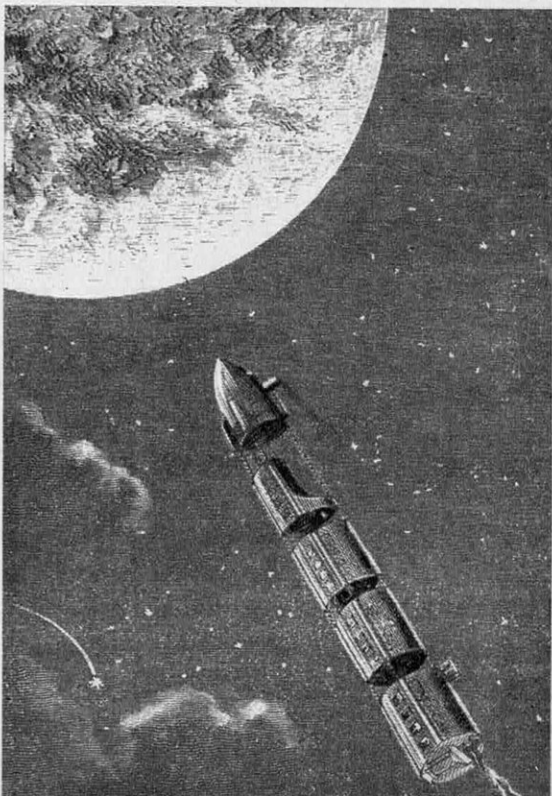
fique à ses romans, il a cependant été obligé de tricher avec la mécanique. En particulier, dans son engin sans fusée, ses passagers auraient été tués au moins

trois fois: au départ du coup, à la traversée de l'atmosphère et au retour sur la Terre. En bas à droite, un train interplanétaire selon Jules Verne.

L'arrivée de l'obus sur la Lune



Un «futur» train Terre-Lune



Enfin, n'omettons pas de citer E. R. Burroughs (1938) qui comptait utiliser lui aussi une « volonté puissante autant qu'irrésistible ».

C'est l'utilisation d'un chemin impondérable constitué par le « spectre solaire » qui permet à Mihaéliss (1921) de se transporter sur Mars. D'ailleurs, ce spectre peut être, au gré de l'auteur, renforcé par le spectre du radium !

Enfin, Astor suggère un « électro-repulsor », sur lequel il garde le secret le plus entier.

Les progrès prodigieux réalisés dans le domaine de la radio ouvrent aux romanciers d'anticipation des horizons nouveaux, mais les notions nouvelles sont trop souvent mal assimilées et sources de confusions.

Ainsi Gorcha, en 1928, dépasse tout ce qu'une imagination déréglée peut enfanter, en inventant un certain « rayon R » qui lui permet de transporter les objets au moyen de la radio, non seulement d'un point à un autre, mais d'une planète à une autre.

En 1873, les travaux sur la pression de radiation ne manquent pas d'inspirer quelques romanciers tels Faure et Graffigny (1889), en France, et Krasnogorsky (1913), en Russie. Il s'agit généralement d'engins pourvus d'un immense disque, servant de voile que les rayons solaires repoussent vers l'infini.

Un certain nombre d'auteurs recoururent à la *réaction* pour propulser, à la suite de Cyrano, leurs engins dans l'espace. On sait aujourd'hui que c'est le seul procédé pratiquement utilisable. Ils étaient donc dans la bonne voie, et pourtant ils n'eurent que peu d'influence sur l'évolution des idées en matière d'astronautique.

De Jules Verne à Wells

C'est à Jules Verne, avec son canon, que nous devons de voir transposer, en 1865, le problème dans le domaine du plausible, à défaut du possible, par la maîtrise de son exposé et surtout par la sûreté de son raisonnement, pseudo-scientifique sans doute, mais d'une logique qui semblait à l'abri de toute critique.

Il est bon de rappeler ici le nom de quelques imitateurs du génial romancier. H. de Parville (1865) met à profit une éruption volcanique pour projeter depuis Mars un aérolithe portant un habitant. En 1889, Faure et Graffigny recourent au même procédé pour faire partir de Terre un obus. En 1898, Wells songe à la même formule pour faire envahir la Terre par les Martiens :

ils arrivent dans un obus de 26 m de diamètre.

Cependant, parmi tous les procédés, c'est finalement sur la réaction que se porte la majorité des suffrages. Aussi les ouvrages sur ce mode de propulsion sont-ils particulièrement nombreux au ^{xx}e siècle.

De tous, Rosny Aîné fut le plus remarquable « chantre » de la navigation cosmique et son mérite est grand d'avoir légué aux générations de chercheurs le nom « Astronautique », sous lequel tous les peuples du monde désignent aujourd'hui la nouvelle science des voyages extra-terrestres.

Aujourd'hui, mieux encore que des romans, le film permet de porter à la connaissance d'un large public les préfigurations des randonnées dans l'espace.

Certes, la plupart du temps ces films faussent comme à plaisir la vraisemblance scientifique, et la couleur triomphe toujours au détriment de l'exactitude. Qu'importe, le public grâce à eux découvre l'existence d'une branche nouvelle de l'activité humaine ; libre à lui par la suite de corriger les erreurs des cinéastes.

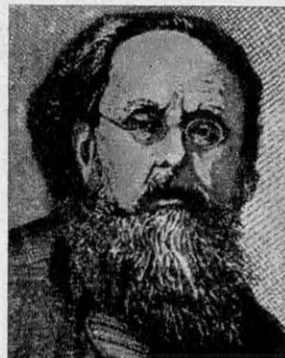
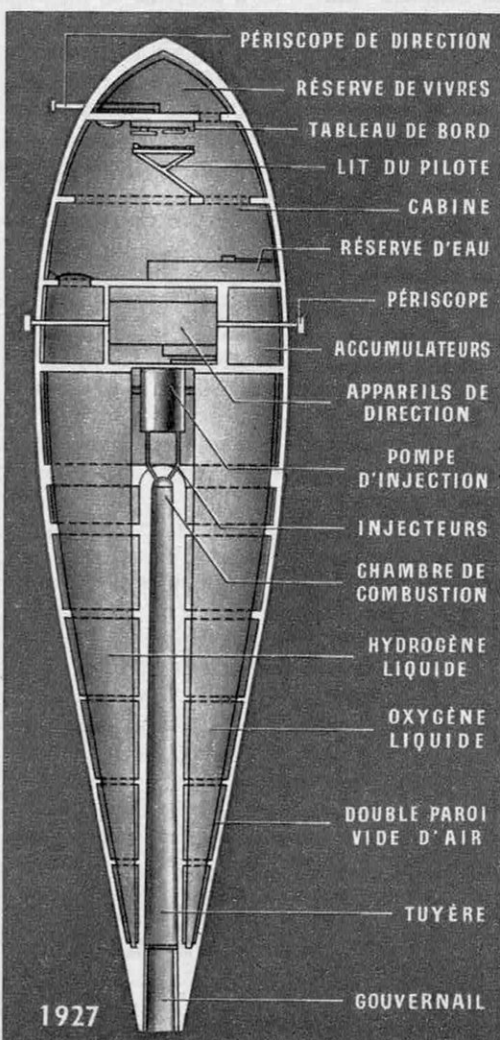
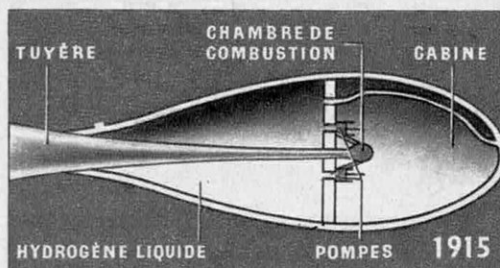
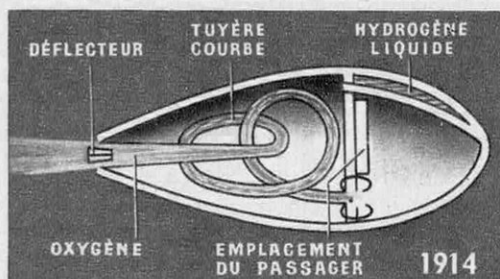
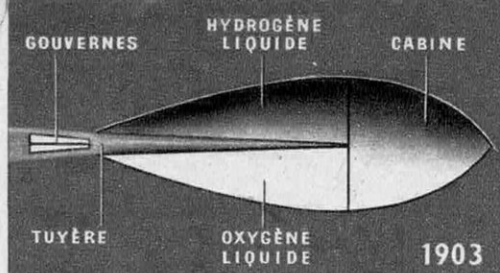
L'astronautique découvre son propulseur : la fusée

Les spéculations astronautiques ont trouvé leur premier stimulant dans le célèbre roman de Jules Verne. Quelques esprits critiques s'attachent à démontrer que Jules Verne prêchait faux, que son canon de 300 m de long était impossible à réaliser, que le choc initial aurait désintégré les passagers, que la vitesse de 16 km/s (fixée par Jules Verne lui-même) n'aurait pu être atteinte à la sortie du canon et cela pour deux raisons majeures : une résistance atmosphérique considérable, et l'impossibilité pour la poudre de chasser devant elle un obus à une vitesse que ne peuvent atteindre les molécules des gaz que dégage sa combustion. Nous ne parlerons même pas de l'inflammation de l'obus retraversant l'atmosphère à son retour sur la Terre, et de son anéantissement à l'impact.

Que fallait-il donc faire ? Quelles règles satisfaire pour réaliser le voyage dans la Lune, puisque le canon se révélait impraticable ? A cela, les mêmes critiques répondirent nettement : partir à faible vitesse initiale ; disposer d'un engin capable de diminuer ou d'accroître sa vitesse selon les besoins dans un espace vide d'air.

Or un seul moyen permettait de satisfaire ces exigences : c'était la *fusée*.

Aussi, quelques années plus tard (1875),



Fusées interplanétaires selon Tziolkowsky

Si l'on ne saurait dénier à Jules Verne le mérite d'avoir éveillé, par ses anticipations, l'intérêt du grand public pour l'astronautique, c'est au Russe Konstantin Edouardowitch Tziolkowsky, né le 17 septembre 1857 à Yjewsk, qu'il faut attribuer celui d'avoir transposé dans le domaine scientifique les conceptions souvent hasardeuses du célèbre romancier. On lui doit, dès 1903, le premier projet sérieux de fusée interplanétaire; c'est lui qui imagina l'emploi des déflecteurs de veine placés sur le parcours des gaz d'échappement pour diriger l'astronef, qui lança l'idée des mélanges combustibles liquides, qui préconisa l'alimentation par pompes, enfin le freinage aérodynamique par l'atmosphère pour l'atterrissage au cours d'une fin de vol en spirale. Son premier projet de 1903 comporte, à l'avant, une cabine où l'auteur envisageait déjà la présence d'un pilote; l'hydrogène et l'oxygène liquides, nécessaires à la propulsion, étaient stockés dans des réservoirs de part et d'autre d'une tuyère évasée, servant ainsi à son refroidissement. Sur ce premier modèle, nous retrouvons déjà les dispositifs, devenus classiques, de commande et de direction du vol par gyroscopes et déflecteurs de veine.

En 1914, Tziolkowsky, perfectionnant son projet, adopta une tuyère formant plusieurs boucles convenablement orientées, espérant obtenir un effet gyroscopique par le déplacement rapide des gaz dans ces boucles. L'oxygène circule dans une double paroi de l'enveloppe extérieure et de la tuyère. En 1915 apparaissent les pompes pour l'injection des liquides dans la chambre de combustion. En 1927, une nouvelle fusée astronautique comporte quelques détails originaux: double paroi isolante où on fait le vide, pilote couché pour mieux supporter les accélérations, périscope pour l'observation du monde extérieur. Une variante plus perfectionnée a été publiée en 1929.

Aucune expérience pratique n'aurait été entreprise en Russie avant la Révolution.

C'est en 1926, aux États-Unis, que Goddard fit voler la première fusée à liquides, démontrant la justesse des vues de K. E. Tziolkowsky.



ROBERT H. GODDARD

Né à Worchester (É.-U.) le 5 octobre 1882, Robert Hutchings Goddard est mort le 10 août 1946. Dès 1909 il étudia les fusées à poudre, puis les fusées à liquides à partir de 1920. Il songea dès lors à leur application à l'astronautique. C'est en 1919 qu'il publia son ouvrage: « Méthode pour atteindre les altitudes très élevées ».

Leterrier, Vanloo et Mortier ne manquent-ils pas, dans une de leurs pièces intitulée « Le Voyage dans la Lune », de conclure, à la suite d'une discussion orageuse entre astronomes, qu'il « n'est pas impossible que le voyage soit possible, mais qu'il est possible qu'il soit impossible ». Cette boutade n'empêche pas, en 1891, l'Académie des Sciences d'accepter le patronage du prix Pierre Guzman, d'un montant de 100 000 francs, réservé à « la première personne qui trouvera le moyen de faire communiquer la Terre avec un astre ».

L'idée de la fusée est désormais ancrée dans les esprits; on ne peut plus considérer comme sérieux les écrits qui n'en parlent pas.

En 1896, l'écrivain russe A.-P. Feodoroff fait paraître les « Nouveaux principes de la Navigation interplanétaire ». Cet ouvrage, en dépit d'une indéniable fantaisie, éveille chez K.-E. Tziolkowsky un grand intérêt pour la navigation cosmique. Dès 1903, il propose une fusée interplanétaire, qui sera révolutionnaire à plus d'un titre, puisqu'elle doit fonctionner grâce à un mélange liquide (oxygène et hydrogène) et qu'elle comprend une cabine pourvue d'un dispositif pouvant absorber le gaz carbonique produit par la respiration des passagers, une tuyère évasée (genre Laval), et des gouvernes placées sur le parcours du jet gazeux (déflecteurs de veine).

L'astronautique scientifique est née en Russie et en France

La Russie et la France se partagent l'honneur d'avoir été les premières nations à jeter les bases de l'astronautique, d'avoir montré par quelques théories géniales la voie dans laquelle devaient s'engager les

inventeurs, s'ils voulaient aboutir à des résultats concrets.

Après Tziolkowsky, c'est notre compatriote A. Bing qui, le 10 juin 1911, prend un brevet pour un « appareil destiné à permettre l'exploration des hautes régions de l'atmosphère, si raréfiée que soit cette atmosphère ». Le libellé de ce brevet nous révèle l'importance du rapport de masse et l'intérêt des fusées composées.

Quelque temps plus tard, le 15 novembre 1912, Robert Esnault-Pelterie, à la Société Française de Physique, dans ses « Considérations sur les résultats d'un allègement indéfini des moteurs », expose ses vues sur l'astronautique, non sans avoir pris les précautions oratoires indispensables afin de ne pas heurter de front ceux — et ils sont nombreux — pour qui l'astronautique n'est qu'une utopie.

La fusée de Tziolkowsky

En 1914, puis en 1915, Tziolkowsky perfectionne sa fusée. Il adopte la forme en goutte d'eau, installe un gyroscope pour la stabilité, aménage des pompes, fixe à 30° l'évasement de la tuyère et, pour permettre au pilote de supporter éventuellement les effets néfastes d'une forte accélération, propose de le coucher (détail particulièrement prophétique, car ce n'est que quelque 20 ans plus tard que Diringshofen déterminera expérimentalement que cette position est la plus favorable pour l'homme durant les fortes accélérations).

La guerre de 1914-1918, qui voit réapparaître sur le front russe les fusées de Makhonine et sur le front français les aviateurs-fuséens, influe sans aucun doute sur les travaux des années suivantes, notamment sur ceux de Goddard en Amérique, de R. Esnault-Pelterie en France, d'Oberth en Allemagne.

Ainsi, en 1920, R. Esnault-Pelterie peut affirmer que les vitesses d'éjection réalisables permettent de considérer comme presque résolu le problème du rapport de masse.

La même année, Goddard abandonne ses expériences sur les fusées à poudre et passe à l'étude des mélanges liquides, plus propres, d'après lui, à permettre la réalisation du voyage Terre-Lune.

C'est encore au cours de la même année que l'ingénieur russe Sander, après une conférence sur la navigation cosmique, reçoit de Lénine qui y assistait une subvention pour ses recherches, et que Tziolkowsky émet le projet d'une planète artificielle.

En 1923, l'ingénieur roumain H. Oberth (qui par la suite devait opter pour la nationalité allemande), dans un traité devenu classique, décrit en détail son astronéf fonctionnant grâce à un mélange liquide, le même que celui que préconisait dès 1903 Tziolkowsky. Il donne en outre un schéma très complet d'une fusée expérimentale gigogne qui, déjà, présente à l'état embryonnaire les principales caractéristiques de la fusée précosmique V-2.

En mars 1924, le Professeur V.-P. Wetschinkine fonde à Moscou une « Commission pour les communications interplanétaires » (qui très vite devient un organisme officiel). L'année suivante, l'Allemand Hohmann s'efforce de déterminer les caractéristiques de la fusée idéale et, pour la première fois, ose indiquer des itinéraires cosmiques, traçant les parcours les plus avantageux et fixant la durée de ces parcours.

La même année, Max Valier publie son ouvrage « Der Vorstoss in den Weltraum », tandis qu'en Amérique, Goddard, soutenu par Daniel Guggenheim, procède à Auburn, non sans succès, au premier lancer d'une fusée à liquide. Cette expérience, plus que n'importe quel plaidoyer enflammé, permet d'asseoir sur des bases solides les propositions formulées précédemment sur l'astronautique. La presse, passant dans le camp des partisans les plus fanatiques, ne cessera dès lors d'apporter son précieux appui à la cause de la navigation cosmique et même bien souvent de contribuer efficacement à son essor.

L'œuvre d'Esnault-Pelterie

Dès le mois de janvier 1927 se fonde à Breslau la première Société Astronautique allemande et le premier Bulletin sur l'astronautique est mis en vente sous le nom de « Die Rakete ». La même année R. Esnault-Pelterie fait à la Sorbonne sa mémorable conférence sur l'« Exploration par fusée de la très haute atmosphère et la possibilité des voyages interplanétaires ». Le 1^{er} février 1928, il fonde un prix annuel d'encouragement de 5 000 francs qu'il place sous le patronage de la Société Astronomique de France. Le grand mérite de R. Esnault-Pelterie est d'avoir su intéresser à ce problème des personnalités comme le général Ferrié, Jean Perrin, Emile Fichot, Charles Urbain, Charles Fabry, Ernest Esclanton, Rosny Ainé et plusieurs autres. Un tel parrainage ne pouvait que garantir le caractère sérieux de ces spéculations.

R. ESNAULT-PELTERIE

Né à Paris le 8 novembre 1881, Robert Esnault-Pelterie s'illustre dès 1900 par ses recherches aéronautiques. En 1912, il se tourne vers l'astronautique où son activité sera maximum entre 1927 et 1934. Le premier lauréat du prix qu'il fonda avec A. Hirsch fut Oberth. Il prévoyait le premier voyage dans la Lune vers l'année 1955.



Le 9 février 1928, à Breslau, le Dr F. von Hœfft expose son point de vue sur la nature des expériences à entreprendre pour aboutir à la réalisation de l'astronéf, et G. von Pirquet suggère l'emploi de « satellites » afin de surmonter les difficultés soulevées par le rapport de masse.

Entre 1928 et 1932, N.-A. Rynine, au courant des moindres travaux astronautiques et en relation constante avec les chercheurs étrangers, fait paraître une véritable encyclopédie astronautique.

« Une femme dans la Lune »

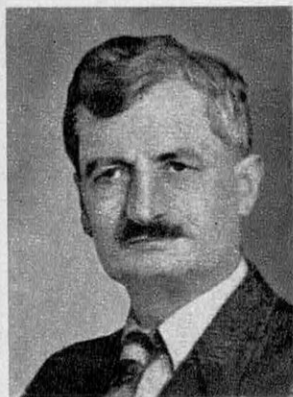
En 1929, Oberth reçoit de la firme cinématographique U.F.A. une subvention de 27 000 marks pour construire sa fusée-sonde, dont les plans furent élaborés en 1923. La même année Noordung présente un travail important et original sur les satellites artificiels dont la vogue grandit.

En 1930 apparaît « Une femme dans la Lune », film d'anticipation auquel H. Oberth apporte sa collaboration scientifique.

En Allemagne se manifeste une véritable psychose de la réaction, créant un terrain des plus favorable aux recherches. Tout ce qui se meut est doté de fusées : planeurs, automobiles, traîneaux, etc. Des groupements d'expérimentateurs se constituent.

E. Pendray, après avoir assisté aux essais de la « Raketenflugplatz » près de Berlin, crée dès son retour à New York, l'« American Rocket Society » (1930).

Comme il était à prévoir, les études sur les fusées, qui se généralisent dans le monde, n'intéressent plus seulement les astronautes ; les militaires, qui avaient au siècle dernier abandonné la fusée pour l'obus d'artillerie, en suivent attentivement la renaissance.



HERMANN OBERTH

Hermann Oberth est né à Hermanstadt le 25 juin 1894. Très tôt il s'intéresse à l'astronomie et l'astronautique. Son premier ouvrage en cette matière, considéré comme un classique, paraît en 1923: il traite du vol des fusées dans les espaces interplanétaires. Il travailla en Allemagne mais contribua peu à l'élaboration des V2.

Et ceci amène désormais une sorte de divorce entre l'expérimentation sur les fusées, réservée aux militaires, et les spéculations des théoriciens de l'astronautique qui, se tenant au courant des progrès de la technique, s'efforcent de préciser les données scientifiques du vol interplanétaire en attendant le jour où le moteur capable de les propulser dans l'espace sera mis à leur disposition.

L'intérêt porté par l'Amérique à ces recherches, la fondation en octobre 1933 de la première Société anglaise, le silence même dont s'entourent les études astronautiques allemandes, enfin la parution en Union Soviétique du bulletin «Mouvement Réactif» dirigé par l'ingénieur Tihonrowov font qu'au seuil de 1935, nous sommes en mesure d'affirmer que l'astronautique constituera l'ultime perfectionnement de l'aéronautique.

L'année 1935, marquée par la disparition de Tziolkowsky, est une année de progrès rapides.

En 1937, le Palais de la Découverte, à Paris, présente une Exposition astronautique, mettant ainsi en parallèle avec les disciplines plus évoluées les sujets de recherche sinon les résultats de la nouvelle science. En 1938, la Société Astronomique de France accorde l'hospitalité aux astronautes, mettant ses locaux à leur disposition pour leurs réunions de travail.

Renaissance de la fusée sur les champs de bataille

Pendant les années de guerre, la parole passe aux seuls spécialistes de la fusée, qui réapparaît sur les champs de bataille.

La mise au point du radar, les progrès du

radioguidage, enfin la révélation en 1945 de l'aboutissement des recherches sur la libération de l'énergie nucléaire apportent aux astronautes de nouveaux espoirs et de nouveaux domaines d'études.

La preuve est ainsi faite d'une manière surabondante que les voies suivies, l'une par les techniciens, l'autre par les astronautes se rejoignent et qu'il n'est pas un problème intéressant l'art militaire qui n'intéresse aussi l'astronautique, et réciproquement.

Dès 1945, les astronautes français tentent de reprendre leur activité mais, mis dans l'obligation de quitter la Société Astronomique de France, ils se tournent vers l'Aviation, désormais plus proche d'eux que l'Astronomie.

L'astronautique prend un caractère officiel

Le 6 juillet 1945, l'Aéro-Club universitaire ouvre toutes grandes ses portes à la Société Astronautique. Un Comité est formé, comprenant des personnalités éminentes, en même temps qu'un bulletin, «l'Astronef», voit le jour. Mais l'astronautique prend un caractère vraiment officiel lorsqu'en avril 1946 et 1947 elle s'inscrit au Congrès National de l'Aviation Française. Enfin, le 6 juillet 1947, a lieu au Palais de la Découverte l'inauguration du Département permanent d'Astronautique.

En contre-partie, comme il s'avère que les recherches astronautiques intéressent la Défense nationale, leurs manifestations sont soumises à des restrictions.

Il y a là un curieux paradoxe, qui n'empêche nullement la Société de poursuivre son activité, tandis que l'Académie des Sciences, sortant de sa prudente réserve, fait paraître dans ses comptes rendus les travaux de E. Esclangon, J. Chazy et de R. Genty. Tous les thèmes traités concernent les satellites artificiels, dont M. James Forrestal, secrétaire à la Défense des Etats-Unis, devait révéler tout l'intérêt en annonçant à la fin de 1948 qu'ils faisaient l'objet de recherches spéciales de la part des services américains.

En 1949, la Section astronautique se soude à l'Aéronautique-Club de France et tente au cours de l'année suivante de reprendre la parution régulière de son organe, «l'Astronef», mais doit abandonner ce projet.

Il est assez décevant de constater que la France se trouve, alors, sans publication

astronautique, alors qu'en Allemagne, dès la fin des hostilités, le bulletin « Weltraum » a fait son apparition, soutenu par des organismes officiels, et que trois sociétés ont repris leur activité interrompue par la guerre.

La France organise le premier congrès d'astronautique

Le nombre sans cesse croissant des travaux concernant l'astronautique et leur indéniable importance nous amènent, dès 1950, à prendre l'initiative d'organiser le Premier Congrès International d'Astronautique.

Paris est choisi pour siège de cette importante manifestation qui a lieu du 30 septembre au 2 octobre sous le patronage des plus hautes personnalités du monde scientifique. Les congressistes, représentant huit nations, décident de fonder une Fédération Internationale.

La même année l'une des plus importantes sociétés astronautiques allemandes fonde le « Prix Hermann Oberth ». Cette distinction est attribuée successivement à MM. A. Ananoff, E. Sänger, W. von Braun.

Création de la Fédération Astronautique Internationale

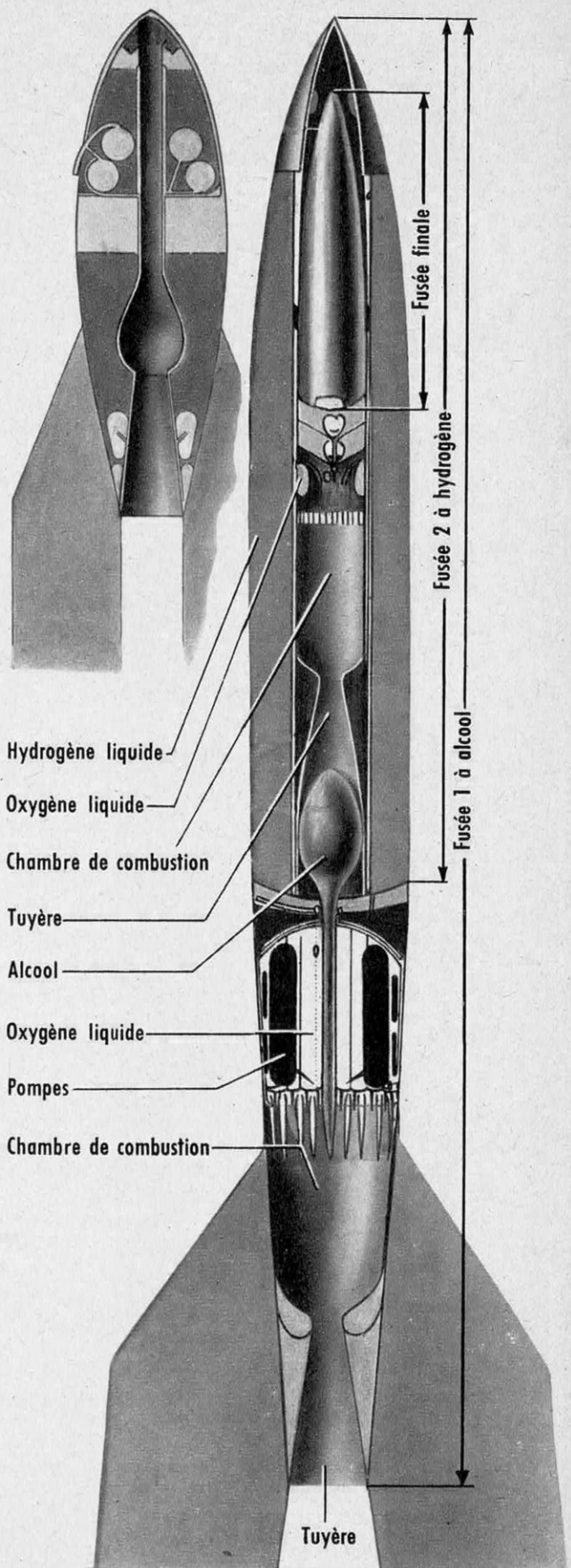
En 1951, à Londres, onze nations prennent part aux débats sur les stations cosmiques. Les statuts de la Fédération Internationale sont adoptés et son siège est fixé en Suisse.

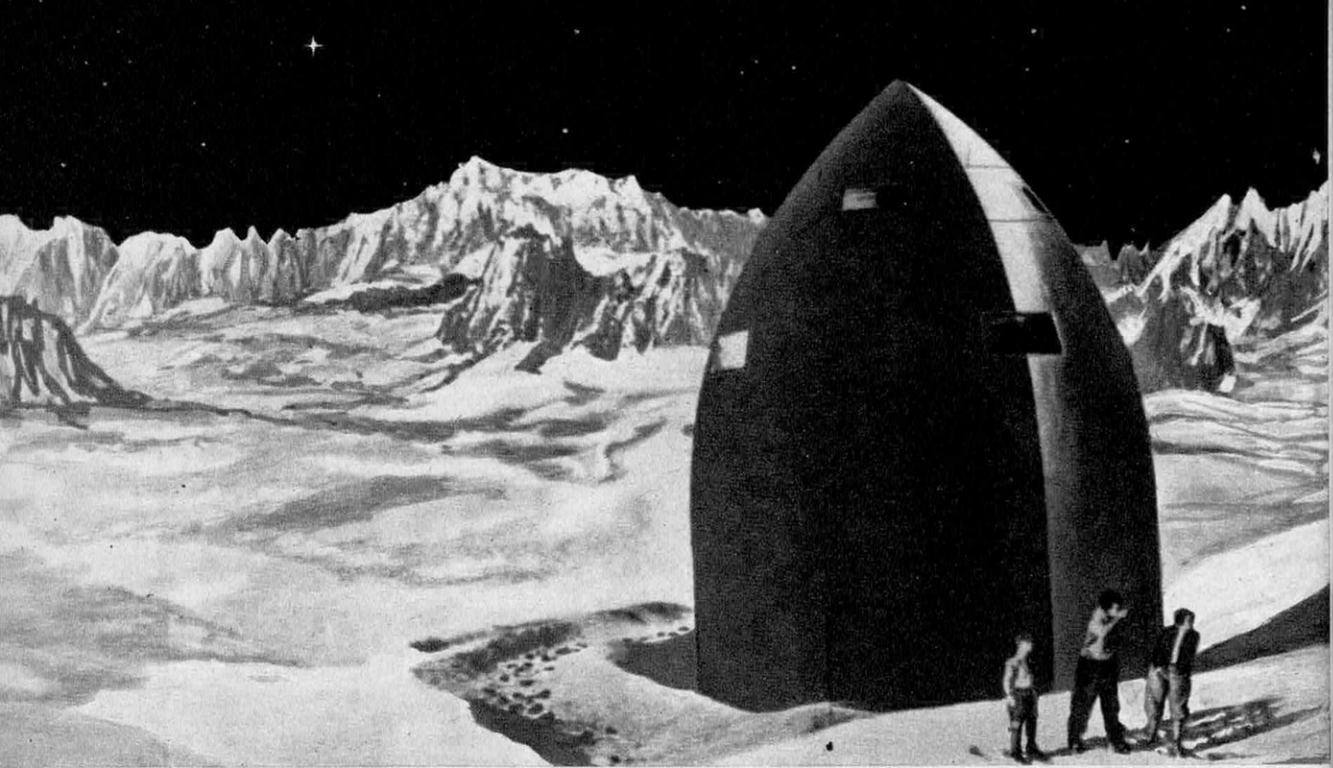
Au 3^e Congrès, tenu en septembre 1952 à Stuttgart, un Ministre allemand déclare que son pays sera doté avant peu d'un Institut National d'Astronautique.

Les congrès successifs vont se tenir régulièrement, enregistrant les adhésions de nations de plus en plus nombreuses, à

LES PROJETS DE H. OBERTH

Ils ont inspiré dans une large mesure toutes les réalisations allemandes à partir de 1930. Leur originalité réside surtout dans une étude minutieuse de tous les aménagements. Le premier projet, reproduit ci-dessus, représente une fusée-sonde dont quelques années plus tard la firme cinématographique U.F.A. devait subventionner sans succès la construction. Le second (à droite) représente une fusée précosmique qui devait, grâce à ses éléments gigognes, atteindre une altitude de 1 960 m. La même année Oberth proposa un astronef à 2 étages avec une cabine assez exiguë.





«Une femme dans la Lune», film UFA

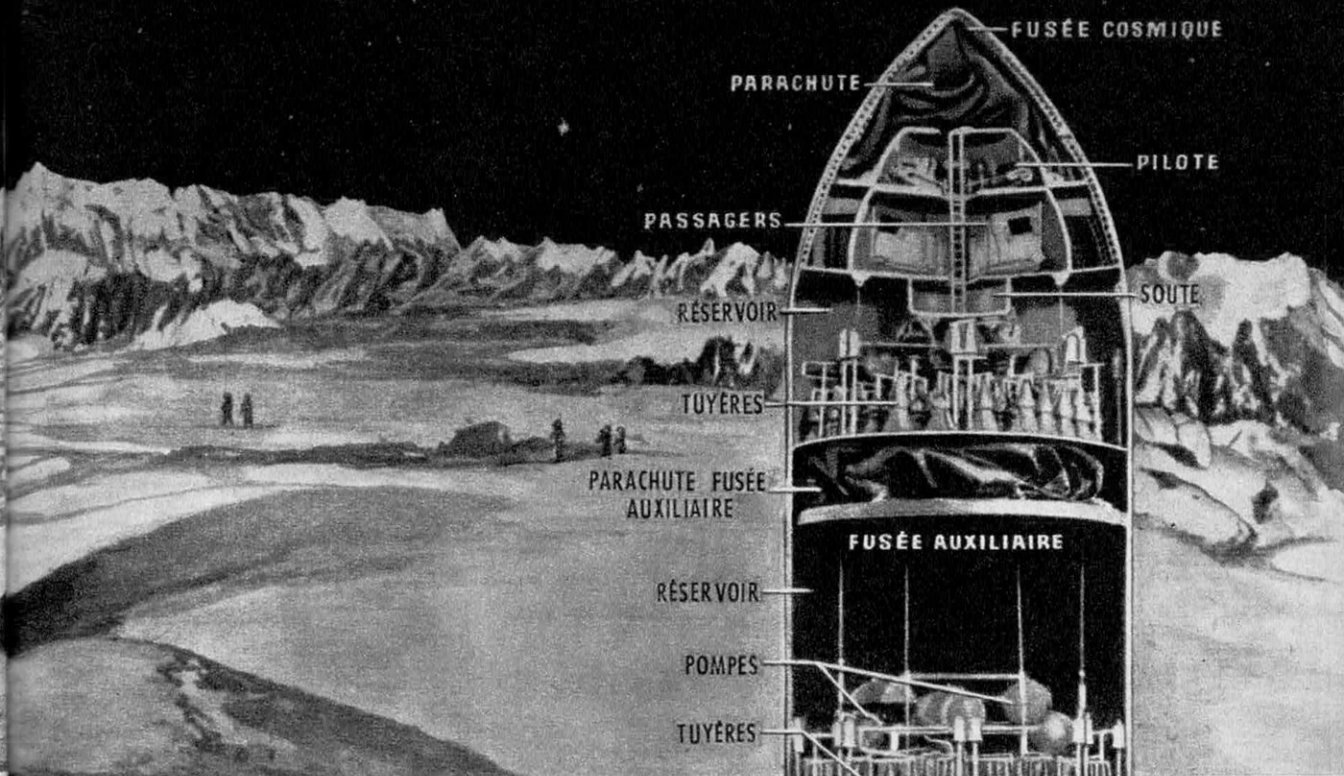
QUATRE ans après la publication des projets de H. Oberth, la firme cinématographique U.F.A. entreprit la réalisation de ce film et s'assura le concours de Oberth pour toutes les données techniques. Si l'intrigue de « Une femme dans la Lune » ne présente pas d'intérêt particulier, le film, en dépit de quelques invraisemblances grossières telles que la présence d'une atmosphère respirable à la surface de

la Lune, demeure un réel chef-d'œuvre sur le plan scientifique. Pendant les quatre années qui séparent le projet de 1923 de la maquette que nous reproduisons ici, Oberth a eu le temps de perfectionner son astronef. En particulier, la cabine est devenue vraiment habitable; elle est séparée de la paroi de la fusée par un couloir qui devait l'isoler et permettre de régler sa température. Quant à la température de l'astronef

Zurich, Innsbrück, Copenhague, Rome et dernièrement Barcelone. Tout indique que l'Astronautique va entrer bientôt dans une phase concrète. Les remarquables performances réalisées pendant la guerre par les V-2, celles des mêmes engins et des fusées « Aerobee » et « Viking » en Amérique annoncent les premières étapes de la conquête de l'espace. Le 20 juillet 1955, les Etats-Unis déclarent officiellement qu'ils lanceront un satellite artificiel pendant l'Année Géophysique Internationale, soit en 1958. Devançant le projet « Vanguard », l'U.R.S.S., qui a adhéré en 1956 à la Fédération Internationale, lance un premier satellite le 4 octobre 1957, puis un second le 3 novembre, emportant pour la première fois hors de l'atmosphère terrestre un ani-

mal d'expérience. Dès lors, rien ne paraît plus pouvoir arrêter cet essor. L'envoi d'un projectile sur la Lune n'est au plus qu'une question de mois; le voyage circumlunaire suivra de peu; dans quelques années un astronef se posera à sa surface. Dans combien de temps s'élancera-t-on vers Mars ? Il semble qu'il n'y ait plus de bornes.

Nos connaissances sur l'espace précosmique se précisent peu à peu par l'expérimentation: exploration de la très haute atmosphère qui permet l'étude des rayons cosmiques et du spectre solaire intégral; recherches sur l'influence des radiations et les conditions de vie des organismes vivants dans les aéronefs où la pesanteur est abolie, etc. Ainsi se prépare méthodiquement la réalisation des vols cosmiques.



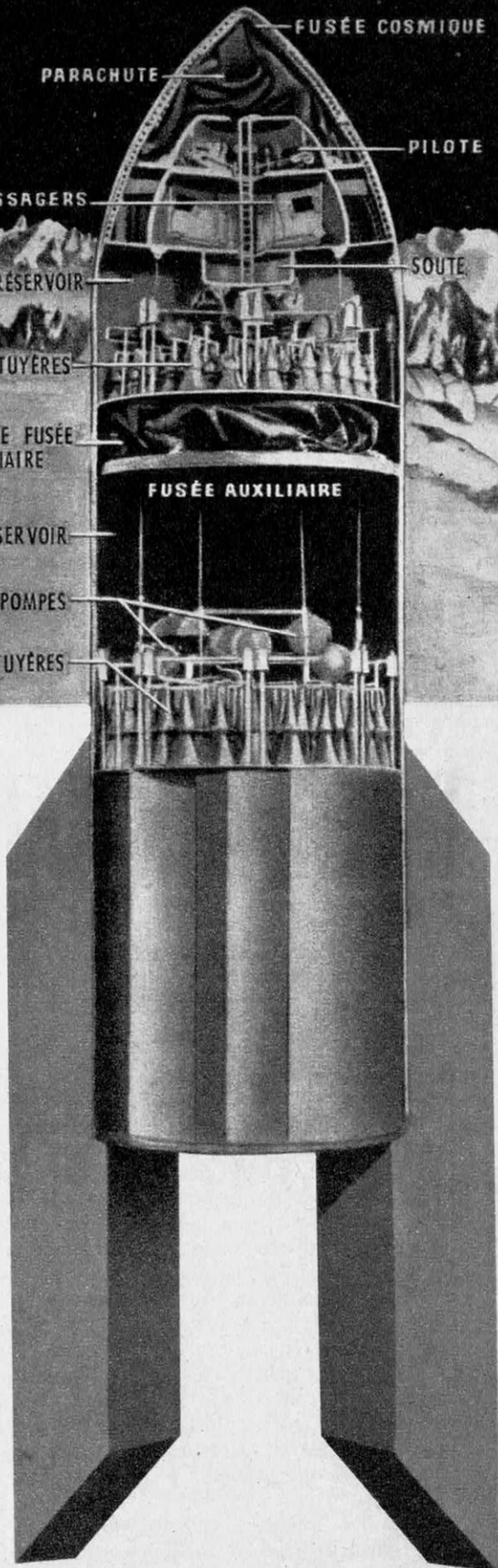
réalisé en 1930

lui-même, elle devait pouvoir être maintenue dans des limites raisonnables grâce à un dispositif, désormais classique, qui consiste à peindre une moitié de l'astronef en blanc, l'autre en noir, de manière à absorber une proportion variable du rayonnement solaire suivant l'orientation de l'engin. On voit, à droite, une coupe de la fusée, montrant l'emplacement de la cabine ; ci-dessus une scène sur la Lune.

Au terme de cet article, qu'il nous soit permis d'émettre un vœu : celui de voir la France, un des berceaux de l'Astronautique, mais où les études n'ont guère dépassé le stade des spéculations théoriques isolées, créer elle aussi un organisme officiel chargé de susciter et centraliser les recherches, aménager des laboratoires et réunir les moyens matériels nécessaires pour passer aux réalisations concrètes, même limitées.

Une nation désireuse de se maintenir à l'avant-garde du progrès ne saurait négliger les études astronautiques, car les problèmes qu'elles soulèvent sont de la plus haute portée sur le plan scientifique et technique.

A. ANANOFF




Les inconnues du "VIDE" INTERPLANÉTAIRE ?

PARMI les nombreux problèmes que soulève la préparation d'un voyage astronautique, nous allons examiner celui des conditions physiques existant dans l'espace traversé par le véhicule. Ces conditions ne seront pas celles qu'auront à subir directement les navigateurs, enfermés dans leur nacelle hermétiquement close. Mais elles pourront avoir une influence sur ces dernières et agir évidemment aussi sur la marche de l'engin lui-même.

Il faut reconnaître tout de suite que nos connaissances sur la haute atmosphère et l'espace interplanétaire ou intersidéral sont encore fragmentaires. Ce n'est pas l'insuffisance de notre savoir qui surprendra. Si l'on éprouve quelque étonnement, ce sera plutôt de constater comment on a tiré parti de techniques très diverses pour obtenir des informations qui se complètent et se contrôlent les unes les autres.

Jusqu'ici aucun homme n'a réussi à s'élever dans l'atmosphère à une altitude supérieure à 38 kilomètres. Pauvre record, par comparaison aux projets des astronautes.





Pour explorer l'atmosphère jusqu'à 30 ou 40 kilomètres, on emploie des *ballons sondes*, qui emportent des appareils enregistreurs mesurant la température, la pression, l'humidité, etc. En fixant sur les ballons sondes un émetteur de radio, qui transmet directement au sol les résultats des mesures, on évite le retard qu'imposait autrefois la recherche des instruments, après leur descente au sol en parachute.

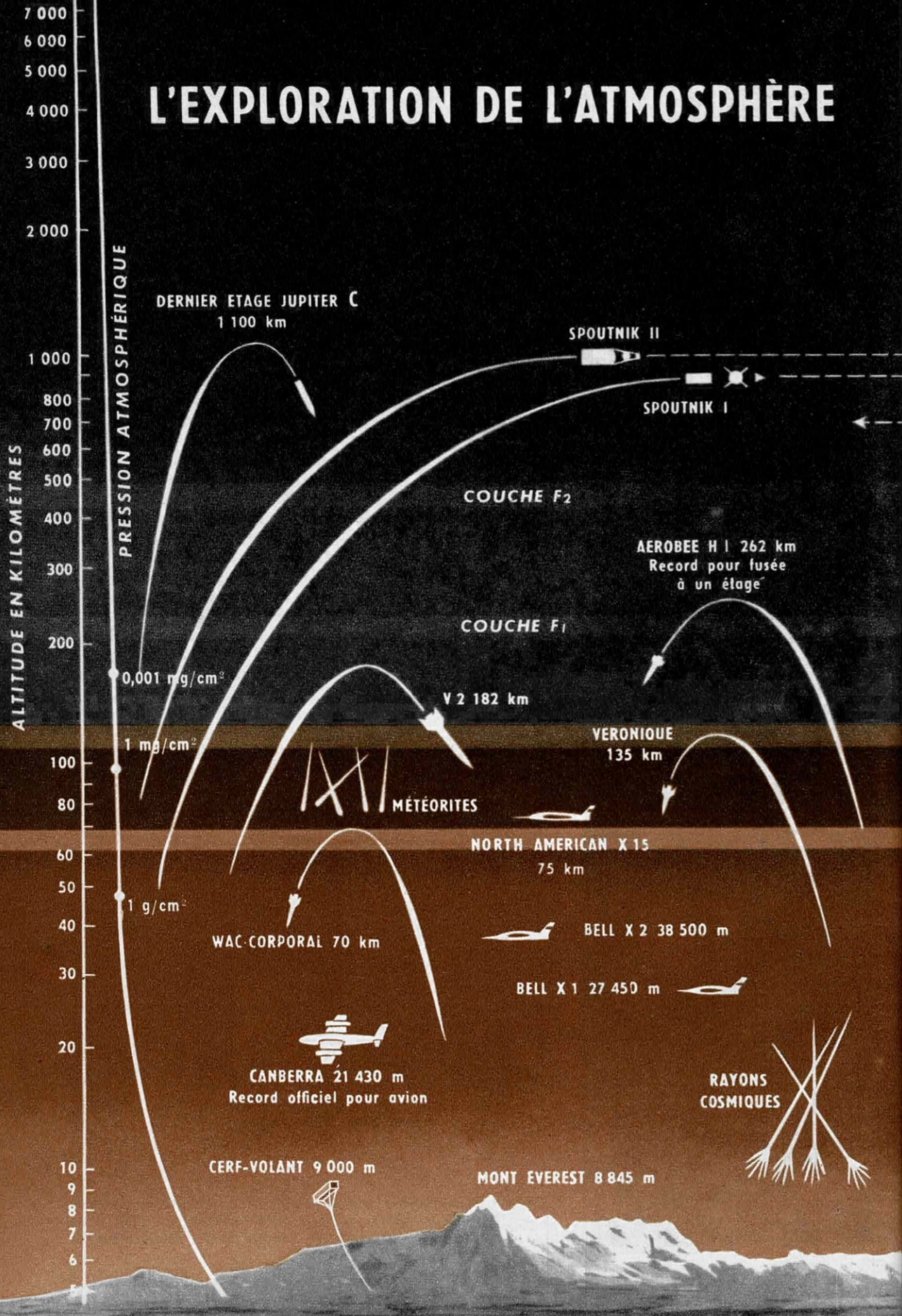
Méthodes d'exploration de la haute atmosphère

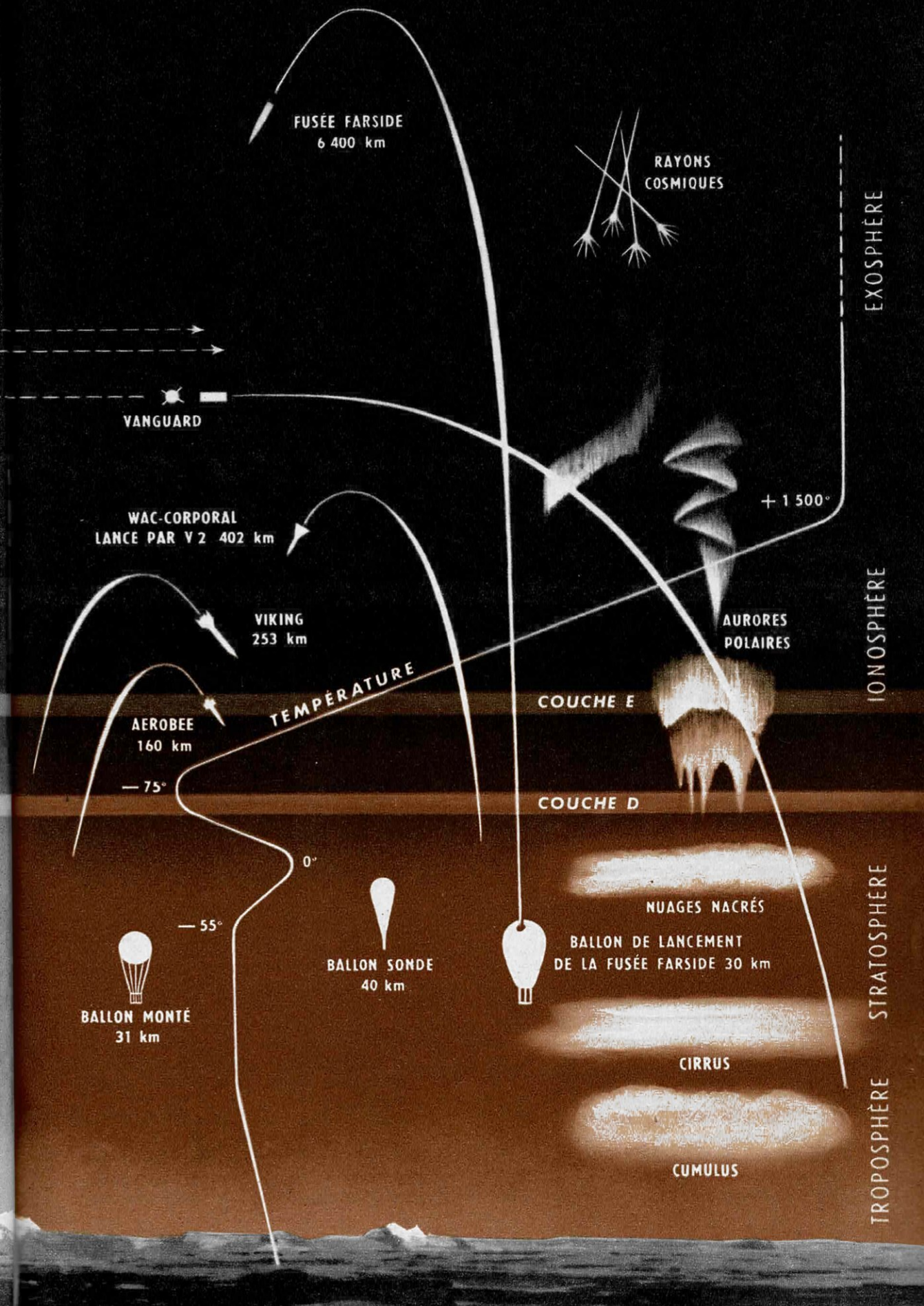
Pour les altitudes supérieures, on utilise, depuis 1946, la technique des fusées et, tout récemment, les Russes ont brillamment inauguré celle des satellites artificiels. On lance les fusées sensiblement suivant la verticale et leur vol ne dure que quelques minutes. Quant aux satellites, ils ont une trajectoire circulaire ou elliptique autour de la Terre; tant que leur mouvement ne les amène pas au-dessous d'une altitude de 150 à 200 kilomètres, où la résistance de l'air commencerait à devenir sensible, leur marche peut se poursuivre pendant un temps très long. Fusées et satellites sont équipés pour diverses mesures, mais celles-ci, même les plus simples, exigent des méthodes détournées, souvent très ingénieuses. Ainsi, un problème fondamental est de déterminer comment la température et la pression varient lorsqu'on s'élève. Nous reviendrons plus loin sur la question de la température dans l'espace interplanétaire ou interstellaire et nous verrons combien elle est complexe. On comprend sans peine qu'on ne peut pas obtenir la température au moyen d'un thermomètre; car, parmi d'autres raisons, l'équilibre thermique ne peut pas s'établir sur un projectile dont la vitesse dépasse largement un kilomètre par seconde. A cause de ce mouvement rapide, la pression, elle aussi, est mal définie, puisqu'elle présente des valeurs différentes suivant l'endroit où elle est prise. On admet que la pression ambiante est égale à celle qui s'exerce en un certain point, déterminé par des considérations aérodynamiques. On déduit aussi la pression par d'autres évaluations. Il s'agit, remarquons-le, d'une pression extrêmement petite; au-dessus de 100 kilomètres, elle s'évalue en millièmes de millimètre de mercure... et notre imagination reste sans réponse devant ces valeurs. En tout cas, il est important d'insister sur le fait que la mesure directe de ces grandeurs est impossible. On conçoit que les résultats obtenus présentent quelque incertitude.

En raison de cette incertitude, le Conseil International des Unions Scientifiques a décidé, sur l'ini-

← **Gerbe de rayons cosmiques**, en photographie stéréoscopique, obtenue à la station de l'Argentière (altitude de 1 200 m environ) par les chercheurs de l'équipe de M. Leprince-Ringuet.

L'EXPLORATION DE L'ATMOSPHÈRE







LES BALLONS SONDES

Lâché par le garde-côte « East Wind », le ballon de droite a atteint une altitude de 30 km avec son lot d'appareils formant un chapelet de 300 m de long. On se sert de ballons identiques, en matière plastique, pour lancer des fusées, comme celle que l'on assemble à gauche, pour l'étude des rayons cosmiques, à grande altitude.

tiative de quelques savants, d'entreprendre une série de travaux relatifs non seulement à la haute atmosphère, mais à l'ensemble de notre globe et dont la solution exige que des observations soient effectuées simultanément dans le monde entier. On a donné à cette très vaste entreprise le nom d'*Année Géophysique Internationale*. Cinquante-six nations y participent et les travaux ont officiellement commencé le 1^{er} juillet 1957; ils dureront pendant toute l'année 1958. Nous ne ferons allusion ici qu'aux recherches concernant la haute atmosphère; elles sont fort nombreuses, car cette région est le siège de phénomènes multiples et variés. Les États-Unis, l'Union Soviétique, la Grande-Bretagne et la France ont mis au point des programmes d'observations par fusées, tandis que l'Union Soviétique et les États-Unis ont proposé de lancer des satellites artificiels.

Mais on peut obtenir d'autres sources d'informations sur la haute atmosphère; nous citerons notamment :

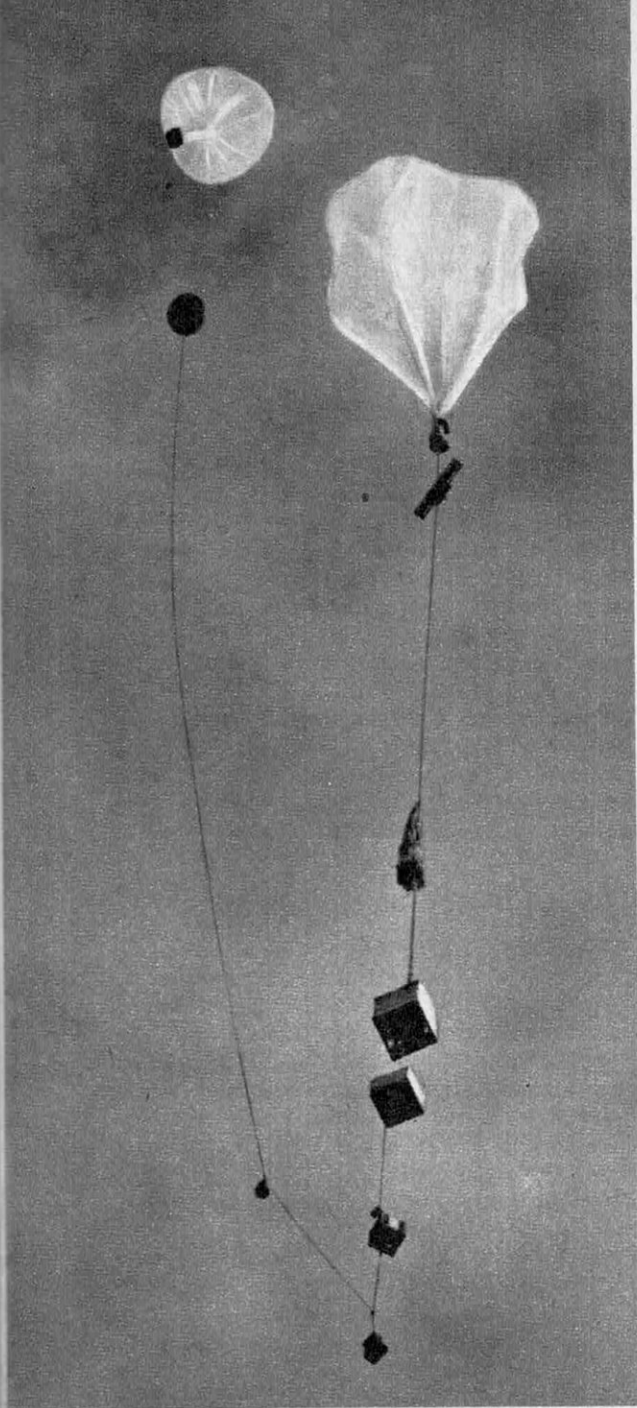
L'étude spectrographique de l'absorption des radiations solaires par l'atmosphère. Ce sont des mesures de ce genre qui ont permis notamment de reconnaître la présence dans l'atmosphère d'une faible quantité d'ozone, de doser ce gaz, d'étudier sa répartition en

altitude. Des observations récentes, dans la région infrarouge du spectre, ont décelé la présence, en quantités impondérables, de divers composés : méthane (CH_4), gaz ammoniac (NH_3), oxyde nitreux (N_2O).

La propagation des ondes radioélectriques. La transmission de la radio à grande distance n'est possible, on le sait, que grâce à la présence dans la haute atmosphère (ionosphère) de couches électrisées, qui réfléchissent les ondes radioélectriques vers le sol. Les mesures nous permettent de connaître la densité des électrons et la température dans ces couches.

L'observation des météores (ou étoiles filantes). La photographie simultanée d'un météore en deux stations distantes de plusieurs kilomètres donne un moyen pour déterminer sa trajectoire. En interrompant périodiquement la traînée enregistrée, au moyen d'un secteur tournant placé devant les objectifs photographiques, on évalue la vitesse du météore. On en déduit finalement la variation de la densité de l'air le long de la trajectoire.

La variation de la brillance du ciel au cours du crépuscule. Elle nous renseigne sur la variation de la densité de l'air en fonction de l'altitude, parce que l'altitude des couches directement éclairées par le Soleil croît au



fur et à mesure que le Soleil descend au-dessous de l'horizon.

L'étude des aurores et de la lumière du ciel nocturne. La faible lumière qui nous vient du fond nocturne est due, pour une part importante, à une luminescence des hautes couches de l'atmosphère, analogue à celle qui produit les aurores polaires. Dans les deux cas, l'analyse spectrographique nous renseigne sur la composition des couches luminescentes et sur leur température.

La propagation anormale du son. Lors des fortes explosions, comme celle de la base d'Héligoland en 1947, on a constaté qu'elles cessent d'être entendues à une certaine distance, mais qu'elles deviennent audibles à nouveau à une distance plus grande. Ce fait a été mis à profit pour évaluer la température de l'air en fonction de l'altitude.

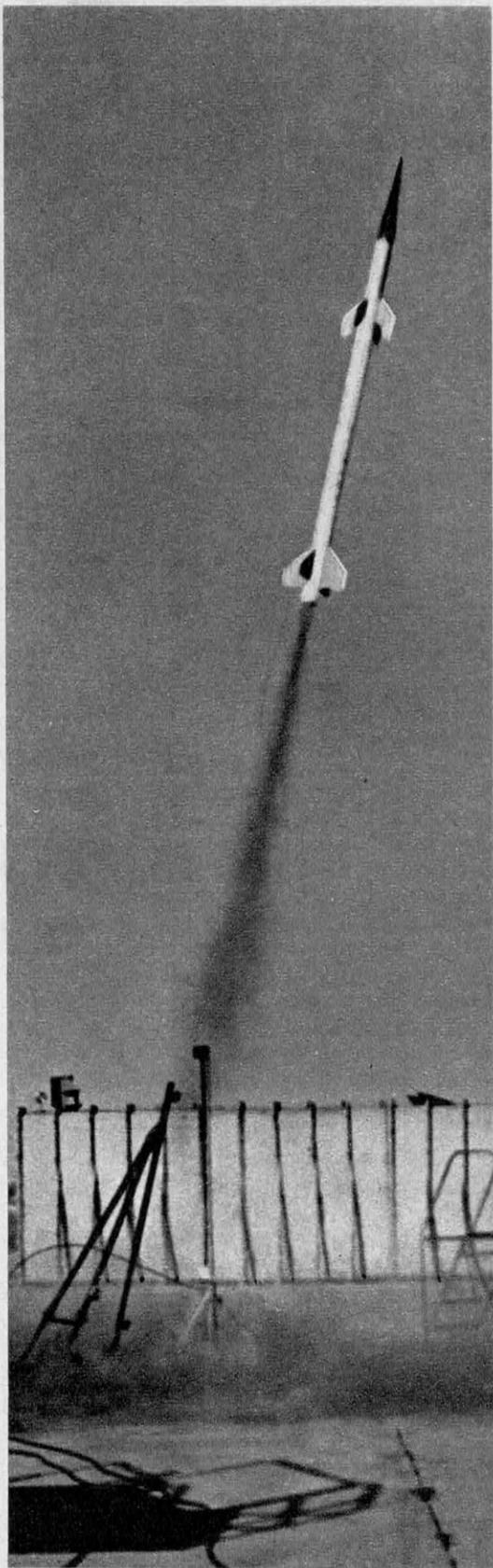
Les conditions physiques dans la haute atmosphère

On connaît maintenant assez bien les variations de la pression et de la température jusque vers 150 kilomètres.

En gros, la pression décroît suivant une loi exponentielle, ou, en d'autres termes, elle diminue dans le même rapport chaque fois que l'altitude croît d'une même quantité. De manière plus précise, la décroissance de la pression est tantôt un peu plus lente, tantôt un peu plus rapide que la variation régulière précédente, selon que la température augmente ou diminue.

Voyons donc maintenant les variations de la température. On sait qu'à partir du sol elle décroît d'abord à peu près linéairement d'un degré tous les 150 mètres, puis devient sensiblement constante, égale à -55°C dans la région de l'atmosphère que l'on appelle la stratosphère. Sous nos latitudes, la stratosphère débute vers 10 kilomètres d'altitude et s'étend jusqu'à 30. Vers cette hauteur, la température se met à croître, pour atteindre un maximum voisin de 0°C , à 50 kilomètres. Elle passe ensuite par un minimum vers 80 kilomètres, puis croît à nouveau. Elle atteint vraisemblablement une valeur élevée, voisine de $+1\,500^{\circ}\text{C}$ vers 300 kilomètres. Le sens des variations, tel que nous venons de le décrire, ne fait plus de doute; mais les valeurs de la température au delà de 40 kilomètres ne sont pas encore connues avec précision. Peut-être même subissent-elles des changements au cours de l'année. Ainsi les observations des météores indiquent que la densité de l'air vers 80 kilomètres présenterait une variation saisonnière, qui serait elle-même liée à une fluctuation de la valeur de la température vers 50 kilomètres et au delà.

On sait, dans l'ensemble, pourquoi la température varie avec l'altitude de la manière indiquée. La diminution initiale à partir du sol s'explique par le mouvement ascendant de l'air, qui produit une détente. L'augmentation, vers 30 kilomètres, doit être attribuée à l'absorption du rayonnement ultraviolet par l'ozone atmosphérique. Rappelons, en effet, que seules parviennent



au sol les radiations dont la longueur d'onde est supérieure à 0,3 micron environ. Celles de plus courtes longueurs d'onde, qui transportent 4 à 5 % du flux énergétique solaire, sont arrêtées par une très faible quantité d'ozone. Cet ozone se forme dans la haute atmosphère à partir de l'oxygène, précisément sous l'effet des radiations ultraviolettes absorbées. Les mesures optiques de l'absorption exercée par l'ozone ont montré que la concentration de ce gaz est maximum vers 20 ou 25 kilomètres d'altitude et devient nulle au delà de 50 kilomètres. Ces résultats ont été confirmés par les explorations au moyen des fusées V-2, puisqu'un spectrographe emporté dans la haute atmosphère a photographié, pour la première fois, la portion du spectre solaire dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,3 et 0,2 micron environ. Les radiations de longueur d'onde inférieure à 0,2 micron ne sont pas arrêtées par l'ozone, mais elles le sont par l'oxygène. C'est précisément à leur absorption qu'est due la nouvelle et forte augmentation de la température au delà de 80 kilomètres.

La notion de température

Il est utile de donner quelques explications sur la signification de la température dans la haute atmosphère. Il s'agit de la température de l'air, et pas du tout de celle que pourrait prendre un corps solide exposé au rayonnement solaire, par exemple la nacelle contenant les astronautes. Cette température de l'air est celle qui intervient dans la théorie cinétique des gaz : les molécules ou les atomes des gaz sont animés de mouvements désordonnés, dont l'énergie cinétique moyenne est proportionnelle, d'après cette théorie, à la température absolue du gaz (c'est-à-dire la température obtenue en ajoutant 273° à la température centésimale). Si la température est élevée, les vitesses d'agitation thermique sont grandes. Les chocs des particules formant le gaz ambiant contre les parois de la nacelle peuvent céder de la chaleur à celle-ci. Mais la fréquence des collisions est proportionnelle à la pression. A haute altitude, cette dernière est devenue tellement faible que, même

← **FUSÉE « TERRAPIN »** à deux étages pour l'étude de l'ionosphère. Bon marché et légère — elle est facilement mise en place par trois hommes — elle atteint cependant 6 115 km/h et près de 130 km d'altitude avec ses appareils détecteurs et émetteurs.

si la température de l'air extérieur atteint 1 500°C ou davantage, la chaleur cédée à la nacelle sera absolument négligeable par comparaison à l'énergie solaire absorbée par les parois.

Oxygène et azote « atomiques »

Cette raréfaction de l'air à haute altitude modifie certaines de ses propriétés. Un changement très remarquable est la transformation des deux gaz, l'oxygène et l'azote, de l'état moléculaire à l'état atomique. Dans les couches basses de l'atmosphère, les atomes d'oxygène sont toujours associés deux par deux, sous forme de molécules O_2 , tandis qu'au-dessus de 120 à 150 kilomètres les atomes O existent séparés. Les rayons ultraviolets de courtes longueurs d'onde, qui existent dans le rayonnement solaire et qui arrivent dans la haute atmosphère, puisque rien ne les a encore arrêtés, ont précisément la propriété de dissocier les molécules d'oxygène en atomes. Ceux-ci peuvent bien se recombiner pour former des molécules, mais les recombinaisons ne se produisent que lors des collisions et ces dernières sont rares à haute altitude.

Il faudra tenir compte, dans la construction de l'engin astronautique ou du moins pour son revêtement, du fait que l'oxygène atomique a des propriétés chimiques nettement plus actives que celles de l'oxygène moléculaire.

Les ultraviolets

Revenons maintenant sur le rayonnement solaire ultraviolet. Les radiations

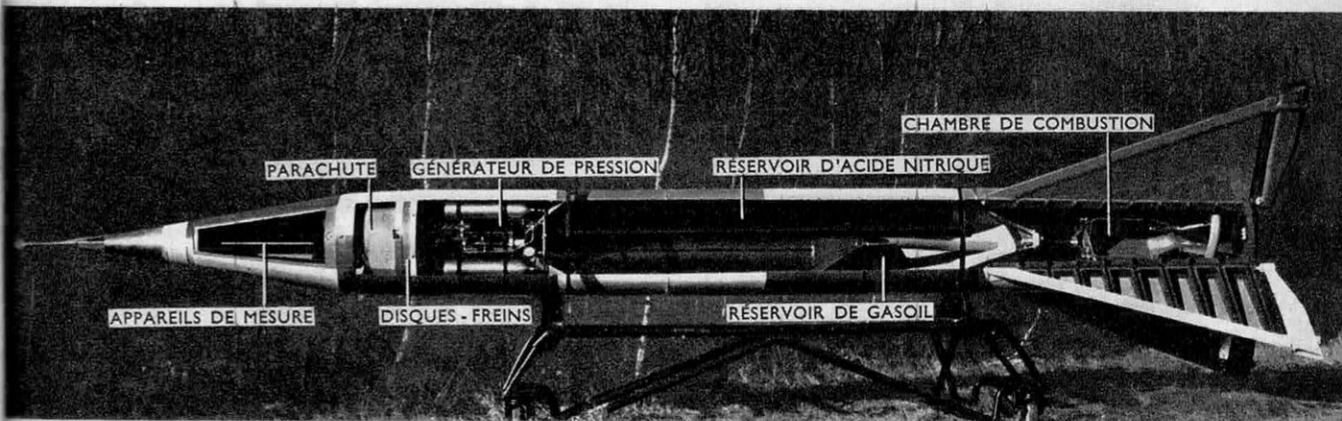
absorbées par l'ozone atmosphérique sont nocives, non seulement pour les bactéries mais pour les animaux et les végétaux. Leur action sur notre peau provoque l'érythème ou « coup de soleil », et sur nos yeux une conjonctivite. Ces radiations pénètrent dans l'atmosphère jusque vers 50 kilomètres; au-dessus de 100 ou 150 kilomètres arrivent aussi celles qui sont absorbées par l'oxygène moléculaire. On notera qu'aux moments où se produisent des éruptions dans la chromosphère solaire, l'intensité du rayonnement solaire ultraviolet se trouve certainement accrue.

Les radiations ultraviolettes possèdent, entre autres propriétés, celle de pouvoir ioniser facilement les molécules ou atomes présents dans la haute atmosphère, c'est-à-dire de leur arracher un électron. Cette propriété, qui est mise à profit dans les cellules photoélectriques, explique la formation des diverses couches ionisées (couche D vers 60 km, couche E vers 100 km, couche F vers 250 km).

Si l'on veut réaliser une liaison par radio entre le sol et les astronautes, ces couches ionisées forment un obstacle pratiquement infranchissable pour les ondes longues et pour les moyennes fréquences. Mais elles peuvent être traversées par des ondes plus courtes qu'une quinzaine de mètres.

Le rayonnement corpusculaire du Soleil

Le Soleil n'envoie pas seulement sur la Terre son rayonnement lumineux (ondes visibles, infrarouges ou ultraviolettes): celle-ci reçoit aussi, de manière intermit-



« VÉRONIQUE ». Cette fusée française à un seul étage atteint normalement 135 km. Le propergol (gas - oil - acide nitrique) qu'elle emporte est brûlé en 45 secondes, lui communiquant une vitesse de plus de 5 000 km/h. Des disques freins et un parachute permettent de récupérer les appareils en fin de course.

tente, un rayonnement corpusculaire, formé de particules électrisées (électrons, atomes ionisés). Ces particules sont éjectées par le Soleil, ou du moins par ses régions perturbées. On admettait récemment encore qu'elles étaient déviées par le champ magnétique terrestre et concentrées vers les régions polaires. Mais cette vue simple est à peu près abandonnée. Bien que le mécanisme des aurores polaires soit encore très discuté, il paraît probable que les particules émises par le Soleil viennent d'abord s'enrouler autour de l'équateur, à une distance de 5 ou 6 rayons terrestres; elles s'échappent ensuite et viennent frapper l'atmosphère, où elles suivent les lignes de force du champ magnétique terrestre, qui les amène dans les régions polaires où elles provoquent une illumination de la haute atmosphère, par choc avec les gaz présents.

Les aurores polaires montrent, fréquemment, les raies de l'hydrogène dans leur spectre. Il ne semble pas, néanmoins, que l'hydrogène soit un des constituants permanents de la très haute atmosphère. Ses atomes y seraient déversés, de temps à autre, par le Soleil, à la manière d'une « pluie ». Mais, à cause de leur légèreté et de la valeur élevée de la température, ils possèdent des vitesses si grandes qu'ils doivent se disperser rapidement dans l'espace.

Les météorites

Deux sortes de projectiles, dont nous n'avons pas encore parlé et qui intéressent évidemment les futurs astronautes, tombent continuellement sur la Terre : les météorites et les rayons cosmiques.

Le nombre de météorites tombant sur la Terre est vraiment fantastique : il est de plusieurs milliards par jour, en dehors des périodes bien connues des grands essaims.

On estime que la masse de matière captée ainsi par la Terre est sensiblement d'une tonne par jour. Les vitesses des météorites sont très grandes, comprises le plus souvent entre 20 et 70 kilomètres par seconde. Notre atmosphère nous protège contre cette averse permanente de projectiles, puisque la très grande majorité d'entre eux sont freinés et consumés avant d'atteindre le sol. C'est généralement entre 80 et 120 kilomètres d'altitude qu'ils deviennent lumineux. Nettement au-dessus de ces altitudes, les météorites n'ont pratiquement subi encore aucun freinage. Heureusement, leur masse est le plus souvent fort petite, d'un milligramme ou moins encore. Celles dont la masse est de cet ordre ne constitueront pas des projectiles dangereux pour les astronautes, protégés dans leur cabine. Par contre, on estime que déjà celles dont la masse atteint seulement 2 centigrammes sont capables, à cause de leur vitesse, de traverser une plaque d'acier épaisse d'un centimètre. Mais les statistiques sont là pour nous rassurer; elles montrent que le nombre de météorites tombant sur la Terre décroît très vite lorsque leur masse augmente; elles montrent aussi qu'une météorite de 2 centigrammes n'atteindra guère une surface donnée de 100 mètres carrés qu'une fois en 2 000 ans. La probabilité d'un choc catastrophique est donc, on le voit, fort faible.

Les périodes des essaims de météorites, pour lesquelles les conditions sont moins favorables, ne sont évidemment pas à recommander.

Les rayons cosmiques

L'étude de ces rayons est une de celles qui ont le plus passionné les chercheurs de ce temps. Elle est aussi une de celles qui ont été les plus fécondes en découvertes

PROBABILITÉS D'IMPACT DE MÉTÉORITES DE TAILLES DIVERSES SUR UNE CIBLE DE 100 M²

Diamètre	1,3 cm	0,5 cm et plus	0,11 cm et plus	0,05 cm et plus	0,02 cm et plus	0,005 cm et plus
Nombre moyen de rencontres par heure	$1,86 \times 10^{-10}$	$4,78 \times 10^{-8}$	$4,90 \times 10^{-7}$	$7,75 \times 10^{-6}$	$4,90 \times 10^{-5}$	$1,96 \times 10^{-3}$
Intervalle moyen entre deux rencontres	612 000 ans	23 900 ans	233 ans	14 ans 8 mois	2 ans 4 mois	21 jours
Probabilité d'au moins une rencontre en 24 heures	$4,47 \times 10^{-9}$	$1,15 \times 10^{-7}$	$1,18 \times 10^{-5}$	$1,86 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-3}$	0,046

sensationnelles. Et pourtant, malgré les très nombreuses recherches entreprises, l'origine de ces rayons n'est pas encore éclaircie. Un point est acquis : les phénomènes que l'on observe au voisinage du sol sont complexes parce que, pendant la traversée de l'atmosphère, les rayons cosmiques rencontrent des atomes qu'ils fragmentent en particules stables ou instables, telles que neutrons, protons, particules alpha, mésons, etc. A leur tour, ces particules produisent des réactions nucléaires, avec libération de plusieurs particules ; c'est le phénomène spectaculaire bien connu des « gerbes » ou des « étoiles » nucléaires. Mais les rayons cosmiques primaires, c'est-à-dire ceux qui atteignent les confins de notre atmosphère, sont essentiellement des protons, dont l'énergie cinétique est telle que les physiciens n'avaient jamais rencontré auparavant des particules en possédant une semblable.

Dans la radiation cosmique primaire, les protons sont accompagnés d'une petite proportion de noyaux plus lourds (hélium, carbone, azote, etc., et même fer) entièrement dépouillés de leurs électrons. Malgré leur plus petit nombre, ces noyaux lourds transportent, en raison de leur masse, une fraction importante de l'énergie primaire.

Notre corps est habitué à être traversé continuellement par les rayons cosmiques, après leur filtrage par l'atmosphère. Quant à savoir si, avant ce filtrage, leur action peut être funeste, c'est une question que nous ne discuterons pas ici.

L'espace interplanétaire

Les conditions ne changeront que d'une manière progressive lorsque les astronautes, abandonnant la Terre, pénétreront dans l'espace interplanétaire ou même interstellaire.

Le chemin est long... Il y a beaucoup d'espace entre les planètes. C'est, dans un sens, une circonstance heureuse, car, outre les planètes, une foule d'objets circulent autour du Soleil : 1 500 comètes au moins, un nombre peut-être 20 fois plus grand d'astéroïdes (ou petites planètes), dont les dimensions varient entre quelques centaines de kilomètres et quelques centaines de mètres, enfin des météorites. On distingue, rappelons-le, trois parties dans une comète : le noyau, qui apparaît comme un point brillant, la chevelure, diffuse autour de lui, et enfin la queue. Le noyau n'a guère des dimensions dépassant 1 000 km ; il est formé par un essaim de petits corps solides, maintenus rassemblés par leur attraction

mutuelle. Quant à la chevelure, elle occupe souvent un volume énorme, qui peut dépasser celui du soleil ; et la queue peut avoir une longueur supérieure à la distance de la terre au soleil. La chevelure et la queue sont formées de gaz raréfiés, qui n'auraient aucun effet, aucune action sur les astronautes, ni leur véhicule. C'est à cause de leur nombre que la rencontre des météorites est la plus à redouter et particulièrement celle des essaims. On possède, il est vrai, une indication, puisqu'on sait que les essaims de météorites sont des débris de comètes et circulent près des trajectoires de celles-ci.

Problèmes de températures

Si le véhicule s'éloigne ou s'approche franchement du Soleil, un dispositif devra être prévu pour modifier l'absorption du rayonnement solaire par la nacelle, de façon à maintenir à son intérieur une température convenable. Comme on le sait, la température prise par un corps dans l'espace interplanétaire ou intersidéral dépend des propriétés absorbantes de sa surface. C'est un problème bien connu des physiciens. Contrairement à une opinion courante, ce n'est pas une surface parfaitement noire qui s'échauffe le plus, car, si elle absorbe mieux que toute autre, elle rayonne aussi de la chaleur mieux que toute autre. L'observation journalière nous montre d'ailleurs que les objets métalliques exposés au Soleil, les toitures en zinc par exemple, s'échauffent plus que les corps noirs. Cette propriété vient de ce que les métaux absorbent très peu les grandes longueurs d'onde et davantage les radiations plus courtes, comme celles du Soleil ; leur pouvoir émissif, proportionnel pour chaque radiation au pouvoir absorbant, est donc sensiblement nul pour les grandes longueurs d'onde, c'est-à-dire dans la région spectrale où un corps noir émet le plus aux températures considérées. Le métal n'émettant pas, la température qu'il prend est donc bien supérieure à celle que prend un corps noir. Si d'ailleurs l'on envisage le cas théorique d'un corps possédant une seule bande d'absorption, sa température d'équilibre varie avec la longueur d'onde moyenne de cette bande et peut rester élevée, même à une grande distance du Soleil. Ainsi, pour une distance égale à la distance du Soleil à la Terre, une sphère noire prendrait une température de $+10^{\circ}\text{C}$; si sa surface absorbe vers 10 microns, la température sera nettement plus basse, voisine de -140°C ; au contraire, pour une bande

d'absorption vers un micron, la température dépassera 700°C. Et, dans ce dernier cas, la température d'équilibre restera encore supérieure à 400°C si la sphère est placée très loin du Soleil, à une distance égale à celle qui sépare la planète Neptune du Soleil.

Entre les étoiles

Une découverte très remarquable de l'astronomie au cours des récentes années est celle qui a mis en évidence la présence de matière dans l'espace interstellaire que l'on croyait, il y a cinquante ans à peine, absolument vide ou parcouru seulement par quelques météorites. Cette matière existe sous deux formes principales : des atomes ou des groupes d'atomes et, d'autre part, des poussières.

Certains atomes, particulièrement ceux des métaux (sodium, calcium, fer, etc.) révèlent leur présence par les « raies interstellaires » que l'on trouve dans des spectres d'étoiles où, normalement, on ne devrait pas les rencontrer. Pour l'hydrogène, on a diverses observations concordantes ; une des dernières a été fournie par la technique toute nouvelle de la radioastronomie qui a reconnu l'émission, prévue par la théorie, d'ondes de 21 centimètres par les atomes d'hydrogène dispersés dans toute la Galaxie.

Les observations montrent que certaines régions de l'espace contiennent nettement plus de matière interstellaire que d'autres. Le nombre d'atomes d'hydrogène varie, par exemple, de 10 et même 100 atomes par centimètre cube à un atome pour 10 centimètres cubes.

Poussières et « nuages »

D'autres phénomènes mettent en évidence qu'il existe aussi dans l'espace interstellaire des poussières minuscules, dont les dimensions sont inférieures au micron. Ainsi on constate que certaines étoiles lointaines, dont on a déterminé indépendamment l'éclat intrinsèque et la distance, ont un éclat apparent trop faible. En plus de cette absorption générale, la poussière interstellaire produit d'ailleurs un rougissement des étoiles lointaines, comme le ferait un brouillard.

En gros, les grains de poussière sont 100 milliards de fois moins nombreux que les atomes d'hydrogène.

La matière interstellaire n'est pas du tout distribuée uniformément dans l'espace ; au contraire, elle se trouve comme rassemblée dans des « nuages », à l'intérieur desquels la

densité atteint ou même dépasse mille fois la valeur qu'elle a à leur extérieur. On ne possède encore que des informations incomplètes sur ces nuages. Leurs tailles et leurs masses sont variables. Les dimensions des plus petits sont de 5 ou 6 années-lumière et la masse de matière qu'ils contiennent vaut 10 fois la masse du Soleil. Les plus gros ont des dimensions 50 fois plus grandes, mais ils sont généralement moins denses. Lorsque ces nuages sont assez épais, nous les distinguons dans le ciel, car ils cachent les étoiles situées au delà. Ils sont particulièrement nombreux dans la Voie Lactée.

Le « vide » interstellaire

Il ne faut pas se former, d'après la description précédente, une image fautive de la matière interstellaire. Cette matière est assez dense pour exercer une absorption sensible sur la lumière des étoiles lointaines ; mais les distances qui interviennent dépassent alors tellement les limites de notre imagination qu'il s'agit finalement d'une matière extraordinairement ténue, au moins un million de fois plus diluée que le « vide » le meilleur actuellement réalisable au laboratoire. Si l'on trouve, en moyenne, un atome par centimètre cube dans l'espace interstellaire, souvenons-nous qu'il y a 30 milliards de milliards de molécules dans un centimètre cube de l'air que nous respirons. Un volume d'espace grand comme la Terre, découpé dans un nuage de matière obscurissante, aurait à peine une masse de l'ordre du kilogramme. Et pourtant, la matière interstellaire, malgré sa densité extrêmement petite, occupe un espace tellement vaste — autrement dit, les étoiles sont si distantes les unes des autres — que certains savants ont estimé que la masse totale dispersée dans la Galaxie est aussi grande que celle de toutes les étoiles. Mais d'après certaines découvertes récentes, en particulier celle des étoiles superinfrarouges, sources ponctuelles de rayonnement radioélectrique, la balance pencherait nettement du côté des étoiles.

On a maintenant des preuves qu'il existe aussi de la matière encore plus diluée, en dehors de notre Galaxie, entre les nébuleuses extragalactiques elles-mêmes.

Arrivons maintenant à la question du flux de lumière et de chaleur, puis à celle, qui lui est liée, de la température. Nous considérons le cas général, c'est-à-dire une région de la Galaxie suffisamment éloignée de toute étoile. Pour évaluer le rayonnement provenant de l'ensemble des étoiles, on classe

celles-ci d'après leurs éclats et leurs types spectraux, puis on fait la somme des énergies. On trouve que le rayonnement reçu équivaut à celui d'une bougie placée à une distance de 100 mètres. Or, malgré cette très faible valeur de l'énergie incidente, les atomes et les électrons de l'espace interstellaire ont une « température » élevée. Ce résultat, qui semble paradoxal, est dû à une propriété de l'effet photoélectrique : lorsqu'un photon ou « grain de lumière » arrache à un atome un électron, celui-ci est généralement expulsé avec une grande vitesse. En tout cas, cette vitesse dépend de la qualité du rayonnement, et non de sa quantité. Dans l'espace intersidéral, la lumière des étoiles lointaines produit ainsi continuellement des électrons à grande vitesse, donc à température élevée. Électrons et atomes gardent cette température, car ils ne peuvent perdre de l'énergie que par des collisions, qui sont fort rares. On estime qu'un atome n'en rencontre un autre qu'une fois par an.

Les températures dans l'espace interstellaire

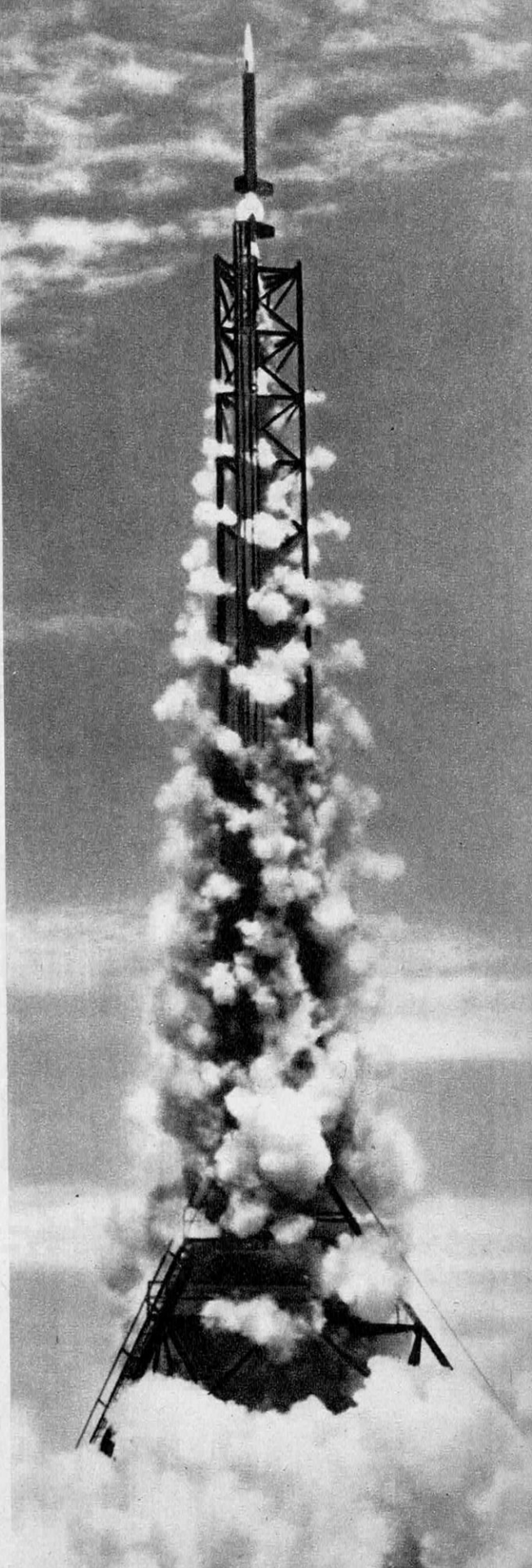
On a trouvé, pour la température moyenne du gaz interstellaire, une valeur de 10 000°C.

On ne peut pas considérer la température du gaz comme étant celle de l'espace interstellaire. En fait, l'expression « température de l'espace interstellaire » n'a guère de sens, car la température prise par un corps solide dans cet espace diffère de celle du gaz et, nous l'avons déjà dit, varie avec les propriétés absorbantes de ce corps. On a calculé, par exemple, qu'une sphère parfaitement noire, éloignée de toute étoile, prendrait une température de 3° environ au-dessus du zéro absolu, c'est-à-dire de -270° dans l'échelle centigrade ordinaire. Mais, si, au lieu d'être noire, sa surface possède la propriété d'absorber le rayonnement pour les radiations comprises dans une bande convenable de longueur d'onde, l'équilibre thermique se réalisera pour une température voisine de 0° ou même largement supérieure, malgré l'extrême faiblesse du rayonnement incident.

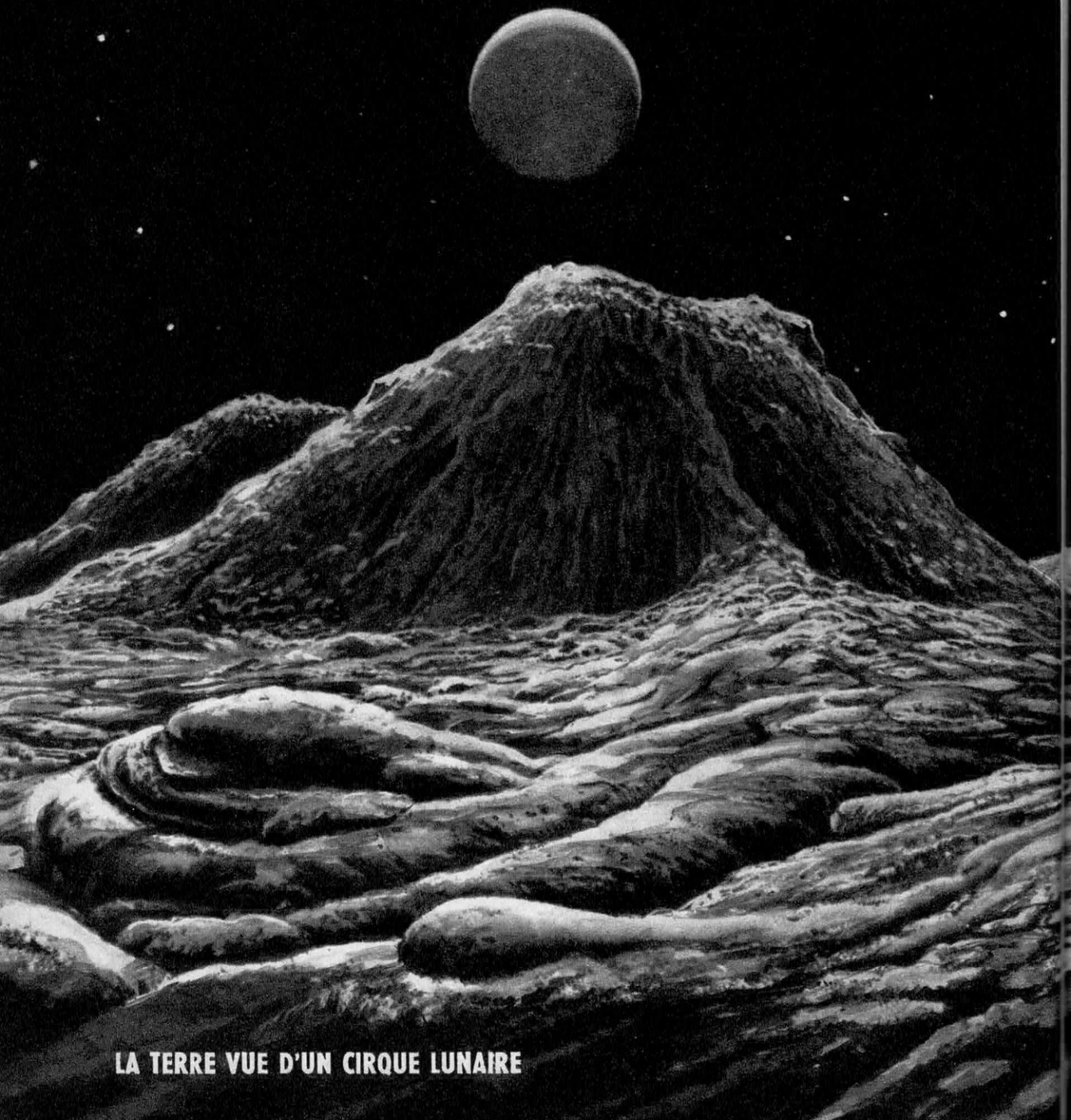
J. GAUZIT

Astronome à l'Observatoire de Lyon

FUSÉE AEROBEE - HI emportant 68 kg d'instruments à 288 km d'altitude. Une cinquantaine de fusées de recherche de ce type seront lancées à l'occasion de l'Année Géophysique Internationale.



LUNE, MARS, VÉNUS



LA TERRE VUE D'UN CIRQUE LUNAIRE

...ASTRES MORTS?

SI les hommes parviennent un jour à atteindre la Lune ou une autre planète, à se poser sur elle et à revenir ensuite sur la Terre, ils rapporteront évidemment une foule d'informations que seule cette visite directe permettra d'obtenir. Pour le moment, ceux qui s'intéressent au projet de ce difficile voyage doivent connaître les résultats, patiemment acquis par les astronomes, relatifs aux conditions physiques régnant sur ces objets célestes. En effet, l'analyse des rayons lumineux nous parvenant de ces astres a permis d'acquérir des renseignements nombreux, dont la précision et la variété surprennent ceux qui ne sont pas familiarisés avec les techniques de la physique moderne. Nous allons résumer ces recherches, en insistant sur les résultats obtenus.

Que savons-nous de la Lune ?

La Lune, satellite de la Terre, tourne autour d'elle à une distance moyenne de 384 400 kilomètres. La période de révolution réelle de la Lune sur son orbite, ou révolution sidérale, est de 27 jours 7 heures 43 minutes. On n'aperçoit à l'œil nu aucun détail distinct de sa surface,



mais en observant avec de simples jumelles, on en distingue suffisamment les principaux caractères pour se rendre compte que la Lune tourne toujours la même face vers la Terre. La durée de sa rotation sur elle-même est en effet égale à celle de sa révolution autour de la Terre. Il en résulte que le « jour » lunaire est 27 fois plus long que le jour terrestre. On explique en général cette propriété de la manière suivante : la Terre exerce sur la Lune des forces de marée, analogues à celles que la Lune exerce sur la Terre ; tant que la Lune a été assez plastique, elles l'ont déformée et le frottement qui en résultait a freiné la rotation de la Lune jusqu'à ce que, au bout de quelques millions d'années, notre satellite tourne toujours vers la Terre la même face. Ainsi la face opposée nous est-elle actuellement inconnue, et une des premières tâches qui incombera aux astronautes sera d'étudier ses détails et de les photographier au cours de voyages circumlunaires. Des engins non montés et équipés d'appareils automatiques suffiront d'ailleurs à cette tâche.

Signalons que si la théorie qui explique l'égalité des durées de rotation et de révolution de la Lune est exacte, les marées créées sur la Terre par l'action de la Lune doivent freiner la rotation de la Terre. On a pu ainsi calculer que, dans 50 milliards d'années, la Terre tournera toujours la même face vers la Lune : ainsi les habitants d'un hémisphère verront toujours la Lune dans leur ciel, tandis que ceux de l'autre hémisphère ne la verront jamais.

La pesanteur sur la Lune

La Lune est 81 fois moins massive que la Terre, et son diamètre est environ 4 fois plus petit ; il en résulte que la gravité à sa surface est 6 fois plus faible que celle existant à la surface de la Terre. Avec le même effort, un homme sauterait sur la Lune une longueur 6 fois plus longue que sur notre globe, ou une hauteur 6 fois supérieure ; il pourrait porter un fardeau 6 fois plus loin ou soulever une masse 6 fois plus grosse.

Cette faible valeur de la gravité explique diverses propriétés de la Lune, notamment l'absence d'atmosphère.

Dispersion des gaz

Les gaz sont formés de minuscules particules — molécules ou atomes — qui se déplacent à de grandes vitesses et se comportent comme de véritables projectiles, capables de s'échapper dans l'espace si leur

vitesse est suffisante. Or plus les gaz sont légers ou leur température élevée, plus grande est la vitesse de ces particules. Par l'effet des chocs, les vitesses sont groupées autour d'une valeur moyenne, qui est proportionnelle à la racine carrée de la température absolue et inversement proportionnelle à la masse moléculaire ou atomique du gaz. A titre d'exemple, cette vitesse est, dans les conditions ordinaires, de 1 800 mètres par seconde pour l'hydrogène et de 480 mètres par seconde pour l'azote. Tout projectile dont la vitesse dépasse une « valeur critique » s'échappe dans l'espace, la force de gravité n'étant pas suffisante pour le retenir. Cette valeur critique est de 2,4 kilomètres par seconde pour la Lune, tandis qu'elle atteint 11,2 kilomètres par seconde pour la Terre. Les gaz formant les atmosphères des planètes se dispersent ainsi dans l'espace, cette dispersion étant d'autant plus lente qu'il s'agit de gaz lourds ou d'astres à forte gravité ou à basse température. La rapidité de cette dispersion dans l'espace varie d'ailleurs extraordinairement vite selon la valeur du rapport existant entre la vitesse moyenne des particules gazeuses et la vitesse critique. Ainsi, pour que la moitié de l'atmosphère se dissipe dans l'espace, il suffit de quelques semaines lorsque ce rapport est égal à $1/3$, mais il faut quelques centaines de millions d'années s'il est égal à $1/5$.

Pas d'atmosphère sur la Lune

D'après ces considérations, on comprend que la Lune ait perdu rapidement son atmosphère. Les observations confirment la théorie.

Tout d'abord, si la Lune avait une atmosphère comparable à la nôtre, elle serait beaucoup plus brillante. La proportion de lumière solaire qu'elle réfléchit est seulement de 7 %, tandis que, par exemple, une planète comme Vénus, dont l'atmosphère est dense et chargée de nuages, réfléchit 60 à 70 % de la lumière incidente. L'absence d'atmosphère est prouvée, d'autre part, par la netteté des bords du disque lunaire lorsqu'on l'observe dans une lunette, ou encore par l'absence de tout crépuscule sur la Lune, puisque le « terminateur », ou cercle séparant la partie éclairée de la partie obscure, paraît toujours très finement délimité, aux accidents de relief près.

A plusieurs reprises, il faut le dire, des observateurs ont cru trouver des preuves qu'il existerait autour de la Lune une atmosphère très raréfiée. Ces prétendues preuves

DIMENSIONS COMPARÉES DES PLANÈTES



MASSES COMPARÉES DES PLANÈTES



doivent être attribuées à une mauvaise interprétation des observations. En réalité, ces dernières, lorsqu'elles sont correctement comprises, démontrent qu'il n'y a pratiquement pas trace d'atmosphère. Des mesures récentes montrent qu'on ne trouve pas d'atmosphère dont la densité atteigne la proportion d'un milliardième de celle enveloppant la Terre. Parmi les observations en question, une des plus intéressantes par ses applications est celle relative aux occultations d'étoiles par la Lune. La Lune se déplace vers l'est par rapport aux étoiles, d'une distance angulaire approximativement égale, en une heure, à son propre diamètre. Les étoiles qui se trouvent sur son trajet sont occultées, c'est-à-dire cachées, lorsque le disque de la Lune passe devant elles. S'il existait la moindre atmosphère, la disparition d'une étoile serait progressive et accompagnée d'une variation de coloration. Des observations délicates ont prouvé que la décroissance quasi instantanée de la lumière est exactement celle prévue par la théorie de la diffraction, sans aucun effet décelable d'une enveloppe gazeuse autour de la Lune. Les variations observées ne sont pas tout à fait celles que l'on obtiendrait si l'étoile était

un point géométrique. Des mesures précises ont permis d'évaluer, par une méthode toute nouvelle, le diamètre apparent, extraordinairement petit, de quelques étoiles; l'accord avec les autres déterminations est excellent.

Les « mers » de la Lune

Puisqu'il n'y a pas d'atmosphère, il n'y a pas non plus d'eau, bien que l'on continue à appeler « mers » les régions sombres, unies, de la surface de la Lune. Pour désigner les détails de cette surface, on a conservé, en effet, les mots employés par Galilée, qui a été le premier à les apercevoir dans une lunette, en 1610. Or Galilée croyait, par exemple, que les vastes régions unies étaient des mers.

Quant à la terminologie bizarre par laquelle on a l'habitude de désigner la plupart des détails de la surface lunaire, elle date du XVII^e siècle et fait appel à des noms de savants et philosophes de l'antiquité et à ceux de personnages des temps modernes plus ou moins illustres.

On compte 14 mers auxquelles on a donné des noms extravagants que les amateurs de sélénographie expriment le plus

souvent en latin : océan des Tempêtes, mer des Pluies, mer de la Sérénité, mer de la Tranquillité, mer des Humeurs, etc.

Les cirques lunaires

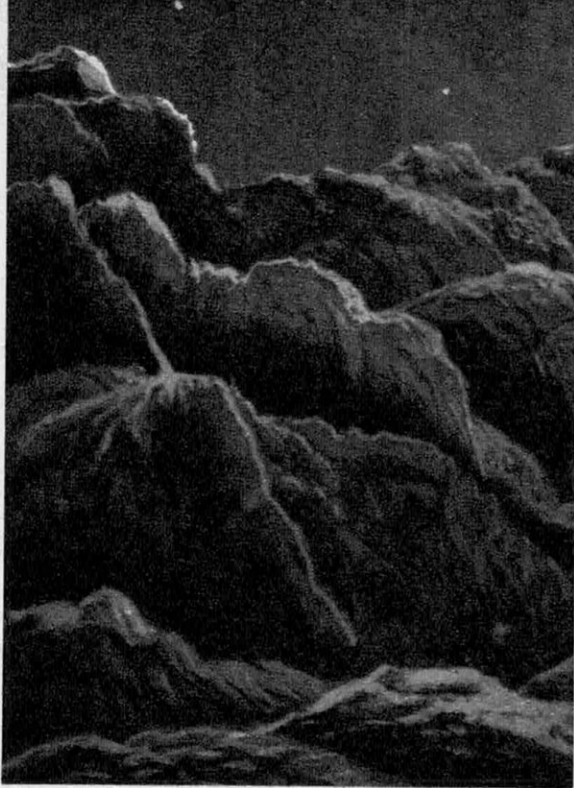
Le relief de la Lune est comparativement beaucoup plus accidenté que celui de la Terre. Rappelons seulement pour mémoire que les formations rondes désignées sous le nom de « cratères » sont très nombreuses, particulièrement dans la région sud de la Lune, puisqu'on en a dénombré 30 000. Ce nom de cratère leur est souvent donné à cause de leur ressemblance avec les volcans terrestres. Quelques-uns possèdent vers leur centre un ou plusieurs pitons coniques : Ptolémée, par exemple, en montre 3. Les cirques lunaires accusent d'ailleurs une grande variété de dimensions et de formes ; les plus larges ont un diamètre de plus de 200 kilomètres. A côté des cirques de grands diamètres, on en voit un nombre beaucoup plus grand de moyennes ou faibles dimensions ; les plus petits sont à peine visibles dans les grands télescopes. La partie centrale des cirques est en général bien au-dessous de la surface moyenne du sol lunaire : Théophile a 5 500 mètres de profondeur ; celle de Newton dépasse 7 000 mètres.

Les montagnes dessinent parfois de véritables chaînes. Les plus connues sont celles qui bordent la mer des Pluies et la séparent de la mer de la Sérénité ; on leur a donné le même nom qu'à des montagnes terrestres : Apennins, Caucase, Alpes, tandis que d'autres montagnes portent le nom d'illustres savants, par exemple le mont Laplace, le mont Huygens, le mont Leibniz. Ce dernier atteint 8 200 mètres.

Rayons et crevasses

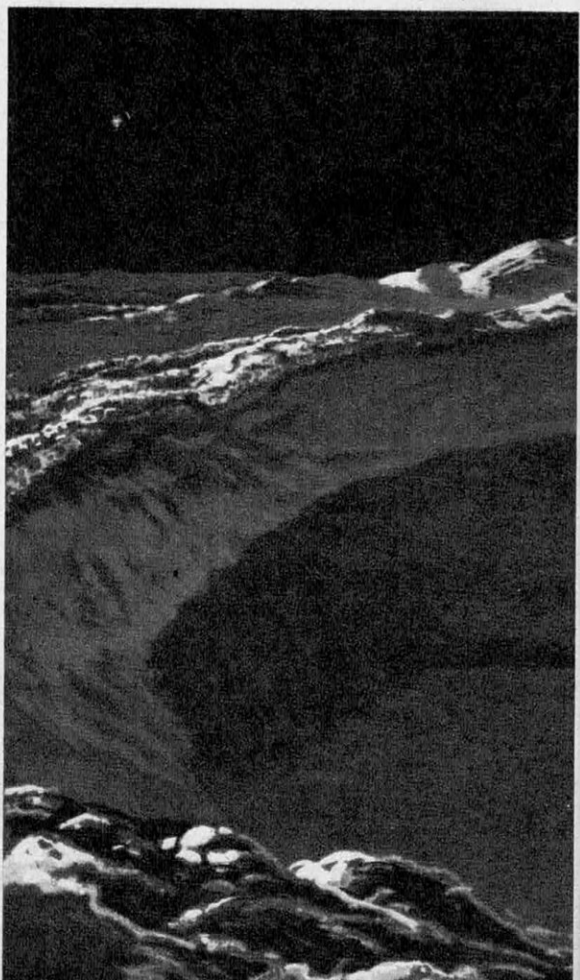
Signalons encore, parmi les détails caractéristiques de la surface lunaire, les rayons et les sillons, rainures ou crevasses. Les plus remarquables des rayons brillants qui semblent diverger de certains cratères sont ceux qui partent du cirque Tycho. Ils sont particulièrement nets au moment de la pleine lune, car ils ne portent pas d'ombre et se révèlent seulement par leur couleur plus claire. On ne connaît pas la nature de ces rayons. Les sillons, rainures ou crevasses, longs d'une centaine de kilomètres et en général presque rectilignes, semblent se propager, comme les rayons, sans tenir compte des irrégularités de la surface.

L'origine du relief lunaire, et en particu-



Sur la Lune, au lever et au coucher

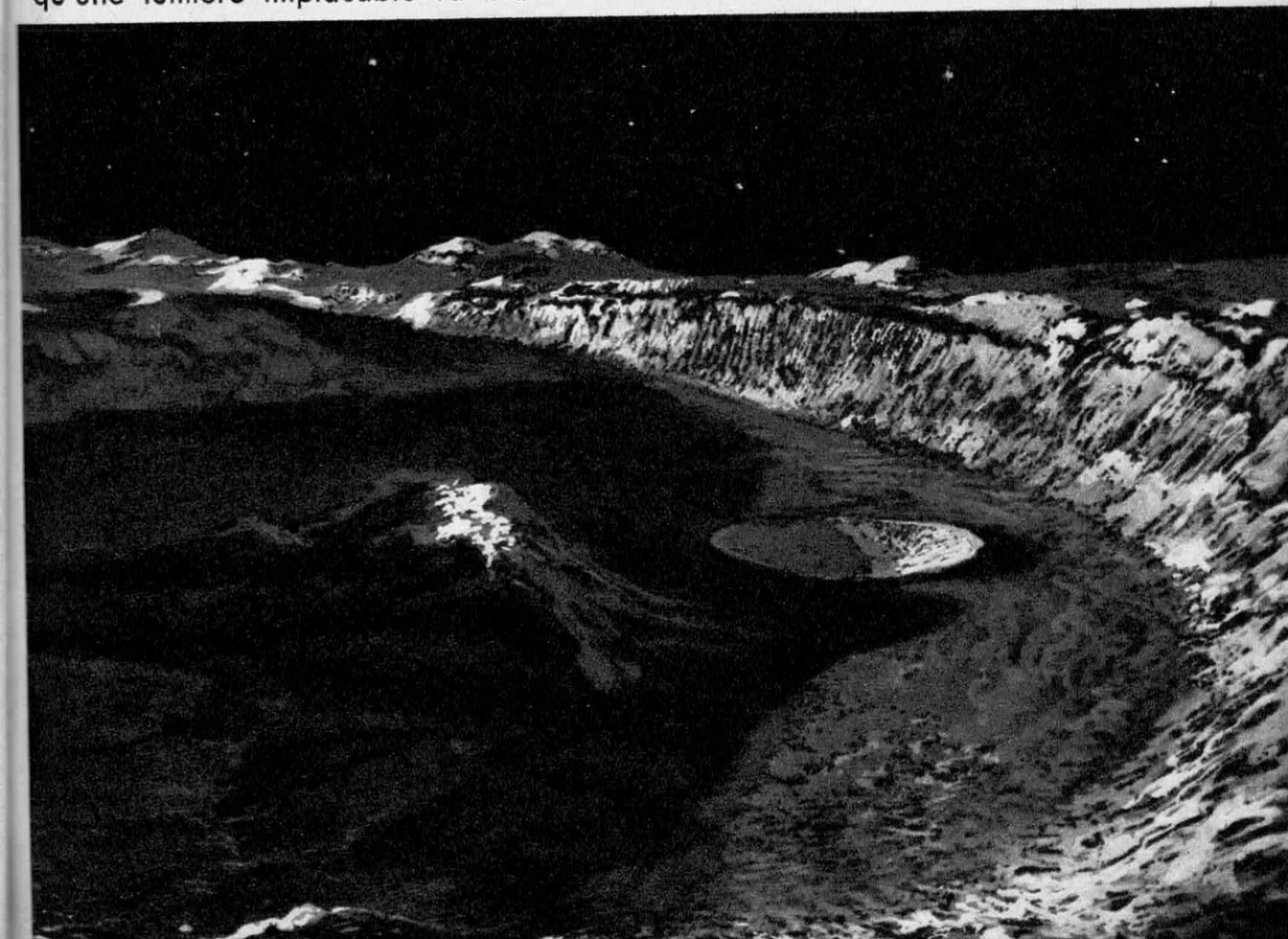
Le Soleil se lève sur un Cirque Lunaire



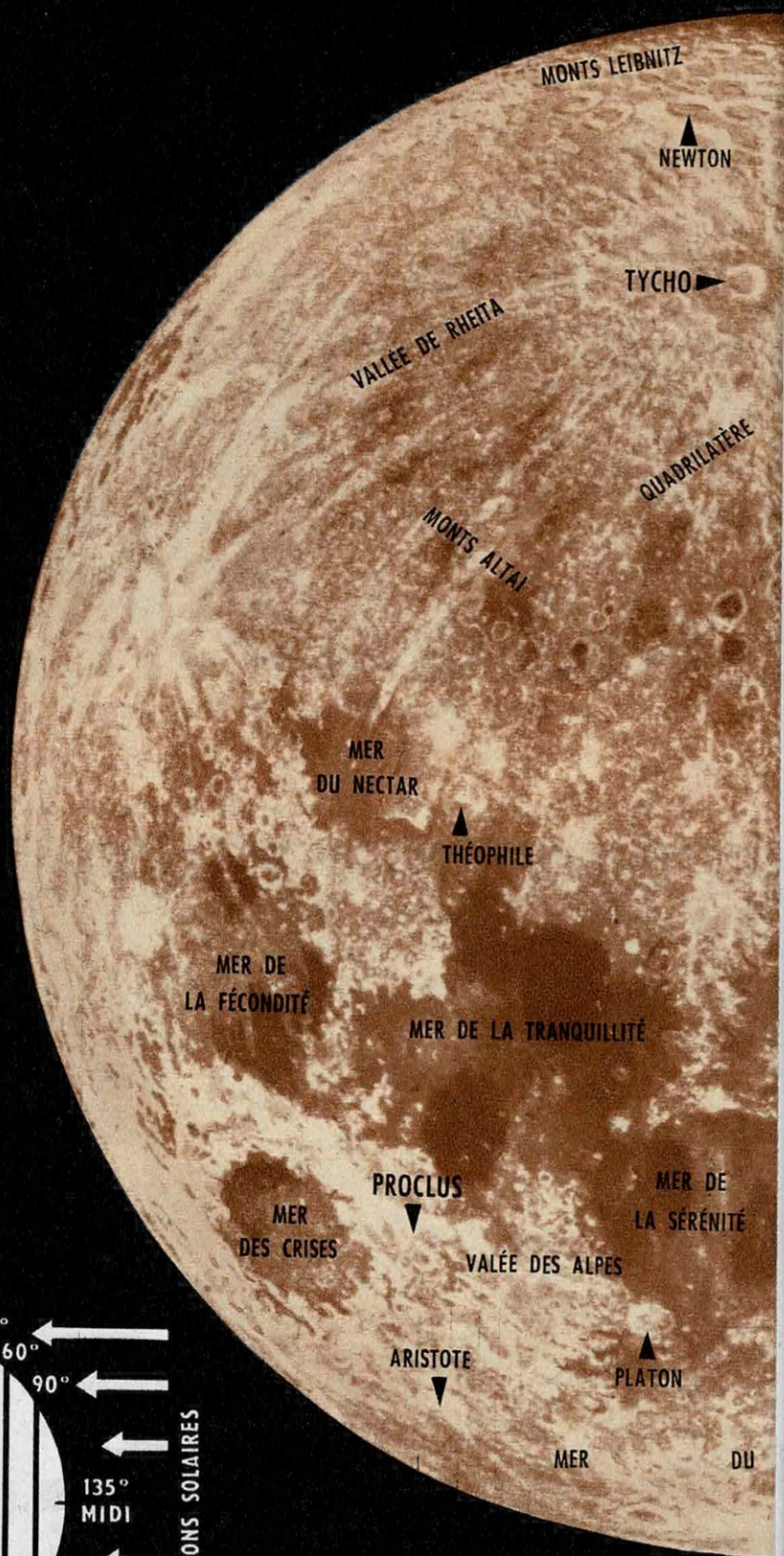
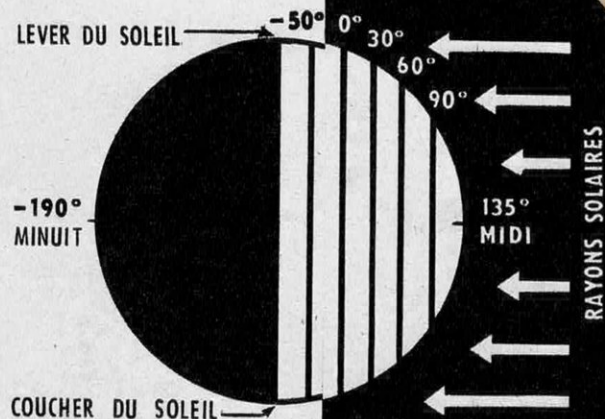


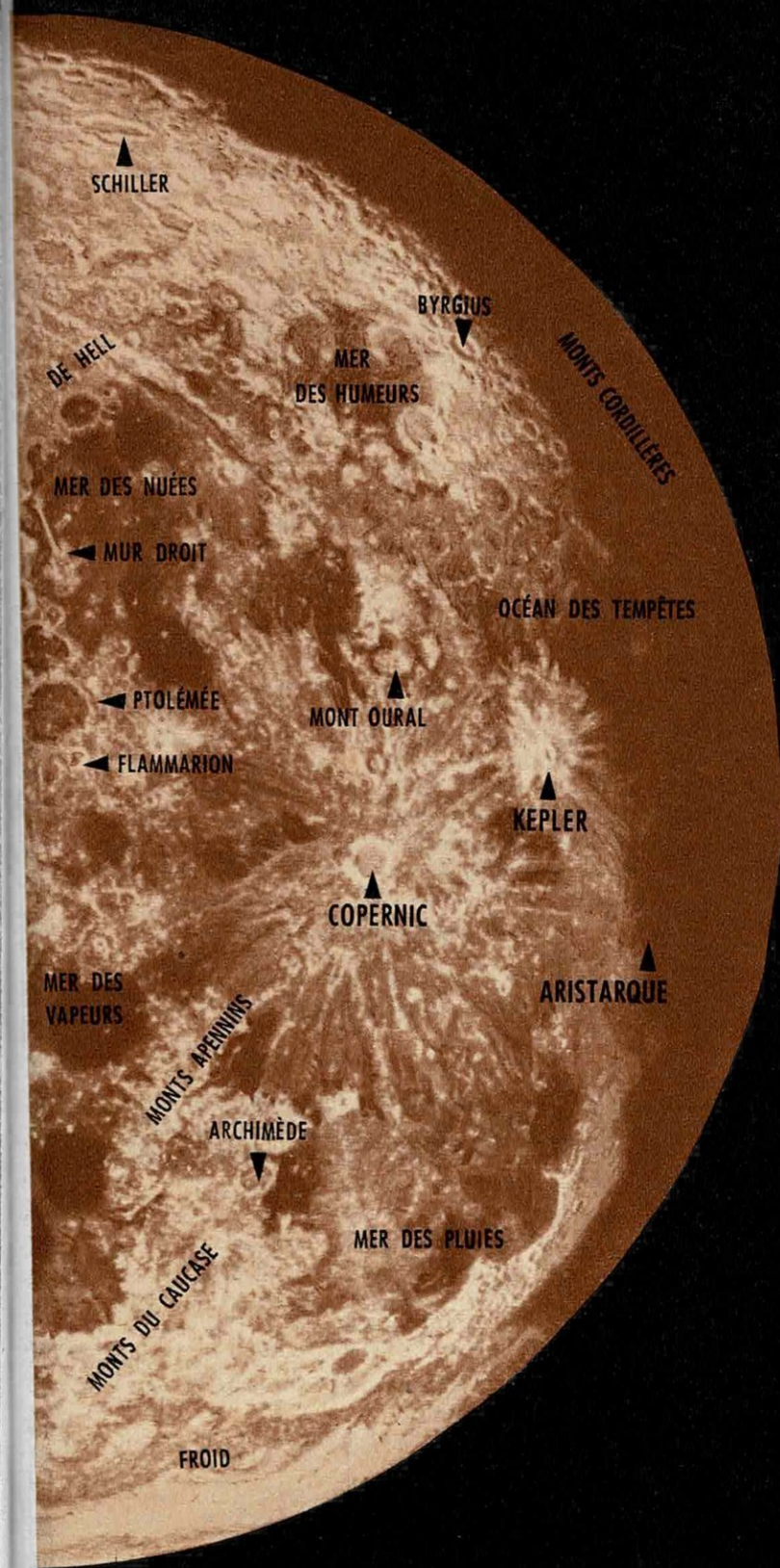
du Soleil, l'absence d'atmosphère permet de voir les protubérances solaires.

qu'une lumière implacable va bientôt illuminer sous un ciel noir et étoilé.



Notre satellite: la LUNE





On ne voit, à l'œil nu, aucun détail distinct à la surface de la Lune, mais l'observation avec des jumelles révèle déjà les principales caractéristiques de sa surface et, en particulier, qu'elle tourne toujours la même face vers la Terre. Les télescopes de 2 ou 2,5 m de diamètre permettent aisément de voir des objets d'une certaine dimension; si donc il y avait des lacs ou des rivières, nous le saurions. Son relief est, en général, très accidenté et la dénomination assez impropre de la plupart des détails de sa surface, que l'on peut lire sur la carte ci-jointe, datent du XVII^e s. Ce n'est qu'à notre époque qu'on a fait des mesures précises de la température; le croquis de gauche donne sa répartition suivant Pettit et Nicholson.

lier des cratères, a provoqué des discussions passionnées. Le terme « cratère » évoque une origine volcanique qui est loin d'être certaine. Une autre hypothèse attribue leur formation à la chute de météorites.

La température sur la Lune

L'absence d'atmosphère autour de la Lune a un effet important sur la température de son sol. La Terre et la Lune, étant à la même distance du Soleil, reçoivent de celui-ci la même quantité de chaleur par unité de surface. Mais l'échauffement du sol est très différent dans les deux cas. L'air qui enveloppe la Terre joue pour elle le rôle d'un écran protecteur, qui réduit beaucoup les variations de la température. La vapeur d'eau contenue dans notre atmosphère a, dans cet équilibre thermique, une action particulièrement importante, car l'absorption qu'elle exerce sur les rayons infrarouges s'oppose à une déperdition de la chaleur. Les conditions ne sont plus du tout les mêmes sur la Lune. On calcule que la température du sol lunaire doit dépasser 100° C pour les régions exposées au Soleil. En effet, en mesurant le rayonnement de notre satellite, on a trouvé une température de +135° C pour la région qui a le Soleil au zénith. Mais il suffit que, pendant une éclipse, la Lune ne soit plus éclairée par le Soleil pendant à peine quelques heures pour que sa température superficielle tombe à -117° C. La grande durée (14 jours terrestres environ) des jours et des nuits sur la Lune contribue à accentuer cet écart. Une autre propriété agit d'ailleurs dans le même sens : nous voulons

parler de la nature pulvérulente du sol lunaire, qui est indiquée par plusieurs observations.

En résumé, notre satellite est un astre mort, sans air et sans eau; la température à sa surface y est très peu favorable à la vie humaine. On n'y trouve certainement pas trace de végétation.

La Lune, astre mort

Il faut dire cependant que des astronomes amateurs ont cru relever des variations de coloration de certaines plages; et certains ont tenté de les attribuer à de la végétation. Non seulement cette attribution paraît tout à fait fantaisiste, mais la grande majorité des astronomes ne croit pas à la réalité des prétendues variations de coloration, qui sont juste à la limite de perception et au sujet desquelles notre impression peut se trouver faussée par différents facteurs, par exemple par une différence d'éclairement ou par une variation de la transparence de notre atmosphère.

Le spectacle que contempleront les explorateurs interplanétaires, s'ils parviennent à se poser à la surface de la Lune, sera donc très différent de celui de la Terre : un ciel noir constellé d'étoiles, de jour et de nuit; pendant le jour, une température élevée et une lumière implacable sur un sol poussiéreux; une absence complète de vie.

La planète Mercure

Cette planète de petites dimensions, la plus proche du Soleil, tourne autour de ce

CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME SOLAIRE	DIAMÈTRE		VOLUME	MASSE	DENSITÉ		PESANTEUR à la surface	TEMPÉRA- TURE (1)
	km	terre=1	terre=1	terre=1	eau=1	terre=1	terre=1	degrés
MERCURE.....	5 000	0,39	0,06	0,054	4,1	0,75	0,3	445
VÉNUS.....	12 400	0,97	0,92	0,82	4,9	0,89	0,86	330
TERRE.....	12 740	1	1	1	5,52	1	1	277
LUNE.....	3 480	0,27	0,02	0,012	3,3	0,6	0,17	277
MARS.....	6 780	0,53	0,15	0,108	3,85	0,70	0,37	224
JUPITER.....	140 000	10,97	1300	318	1,34	0,24	2,64	122
SATURNE.....	115 000	9,0	730	95	0,71	0,13	1,17	90
URANUS.....	51 000	4,0	64	14,6	1,26	0,23	0,91	63
NEPTUNE.....	44 600	3,5	43	17,3	2,2	0,40	1,39	51
PLUTON.....	?	?	?	0,8	?	?	?	44

(1) Température du corps noir à la distance moyenne de la planète, en degrés absolus (température centésimale)

dernier, dirigeant vers lui toujours la même face, comme la Lune vis-à-vis de la Terre.

A cause de la proximité du Soleil, la face constamment tournée vers lui se trouve chauffée à une température élevée, voisine de 350° C. Au contraire, l'hémisphère constamment dans l'ombre est extrêmement froid; les appareils de mesure ne donnent aucune déviation. On pense que la température y est proche du zéro absolu (—273°C).

La gravité étant trop faible, Mercure n'a pas d'atmosphère ou, du moins, s'il en reste des traces, les observations montrent que sa densité est mille fois plus petite que celle de notre atmosphère.

Par ce caractère, Mercure ressemble à la Lune. Il y a d'autres points de ressemblance. Ainsi les sols des deux astres doivent avoir une nature analogue, car ils réfléchissent la lumière solaire sensiblement de la même manière. On distingue sur Mercure des taches sombres, comparables aux « mers » lunaires. Par contre, on n'y a aperçu jusqu'ici aucune trace de relief.

Vénus et ses « nuages »

Puisque cette belle planète a des dimensions et une masse comparables à celles de la Terre, on avait imaginé autrefois qu'elle était celle qui ressemblait le plus à notre globe. Or, bien que l'on connaisse encore assez mal les conditions physiques régnant à sa surface, il est absolument certain qu'elles sont profondément différentes de celles dans lesquelles nous vivons.

Une des difficultés rencontrées dans l'étude de cette planète est la présence du

voile blanc, opaque, de « nuages », qui l'en-toure complètement et constamment. On ne voit pas le sol. On aperçoit parfois des plages plus claires ou plus sombres, à contours imprécis, mais leur nature est inconnue.

Faute de distinguer des détails à sa surface, il n'a pas été possible d'évaluer directement la durée de rotation de la planète.

La spectroscopie a mis en évidence la présence de gaz carbonique, en quantités considérables, dans l'atmosphère de Vénus. Il y a aussi, rappelons-le, du gaz carbonique dans notre atmosphère, mais seulement en très faible proportion (3/10 000 en volumes). Une proportion élevée rendrait l'air suffoquant pour un animal ou un homme. Or la quantité qui se trouve dans l'atmosphère de Vénus est importante, puisque l'on a reconnu que son épaisseur est équivalente, en moyenne, à un kilomètre, sous la pression normale. Il faut bien noter que cette estimation concerne seulement la partie de l'atmosphère située au-dessus des nuages. Des observations récentes ont montré que cette épaisseur peut varier considérablement d'un jour à l'autre ou d'un point du disque à un autre, preuve, pense-t-on, que la couche nuageuse diffusant la lumière a une altitude et une opacité variables. Puisque le gaz carbonique est lourd, il doit d'ailleurs être aussi très abondant près du sol.

Les températures sur Vénus

Le gaz carbonique absorbe fortement les rayons infrarouges. On prévoit que sa présence, en abondantes quantités dans l'atmosphère de Vénus, doit produire un véritable « effet de serre », c'est-à-dire que, comme les vitres dans une serre, ce gaz laisse pénétrer le rayonnement solaire, mais empêche les rayons infrarouges de sortir. Des mesures de la température ont donné une valeur de —30° C environ pour la portion plongée dans la nuit; elles ont montré aussi ce résultat surprenant qu'il n'y a pas grande différence entre l'hémisphère sombre et celui qui est éclairé. Mais il faut remarquer, tout d'abord, que les mesures en question concernent la couche supérieure du voile blanc opaque, c'est-à-dire une région élevée de l'atmosphère. La différence peu importante entre les températures du jour et de la nuit est un argument contre ceux qui pensent que Vénus dirigerait toujours le même hémisphère vers le Soleil; mais une circulation atmosphérique intense suffirait peut-être pour expliquer ces observations. En tout cas, les mesures ne renseignent pas du tout sur la température au voisinage du sol. On

VALEUR DU JOUR SIDÉRAL	DURÉE DE L'ANNÉE	CONSTITUANTS PROBABLES DE L'ATMOSPHÈRE
88 j	88 j	Néant.
?	224,7 j	Gaz carbonique.
23 h 56 mn	365,25 j	Azote et oxygène.
27 j 7 h 43 mn	—	Néant.
24 h 37 mn	687 j	?
9 h 56 mn	11,86 ans	Méthane, ammoniac (hydrogène ?)
10 h 14 mn	29,46 ans	Méthane, ammoniac (hydrogène ?)
10 h 42 mn	84,02 ans	Méthane (hydrogène ?)
15 h 48 mn	164,8 ans	Méthane (hydrogène ?)
?	248 ans	?

augmentée de 273°).



Une phase de Saturne vue de l'un de ses satellites.

estime que l'« effet de serre » doit la porter vers 100° et plus.

Les spectroscopistes n'ont réussi à déceler ni oxygène, ni vapeur d'eau dans l'atmosphère de Vénus. Ils estiment que, si ces corps existent, leur proportion n'atteint pas 5 % (et probablement 2 %) de la quantité présente, à surface égale, sur la Terre. Comme pour le gaz carbonique, les mesures concernent seulement la région de l'atmosphère située au-dessus du voile opaque de nuages. Même pour cette seule région, l'absence constatée est fort surprenante. L'eau, en particulier, se vaporiserait, s'il en existait,

sous l'effet de la haute température régnant près du sol. D'autre part, des considérations physico-chimiques font penser volontiers que sa formation, dans Vénus, pourrait être abondante.

Puisqu'il n'y a pas de vapeur d'eau, quelle est la nature des prétendus « nuages » blancs ? On les a étudiés par la spectroscopie, mais les renseignements que l'on obtient ainsi sont, il faut le remarquer, peu précis lorsqu'il s'agit simplement d'une diffusion, comme c'est le cas ici, et non plus de la traversée d'une couche plus ou moins importante de gaz. Les observations ont pourtant con-



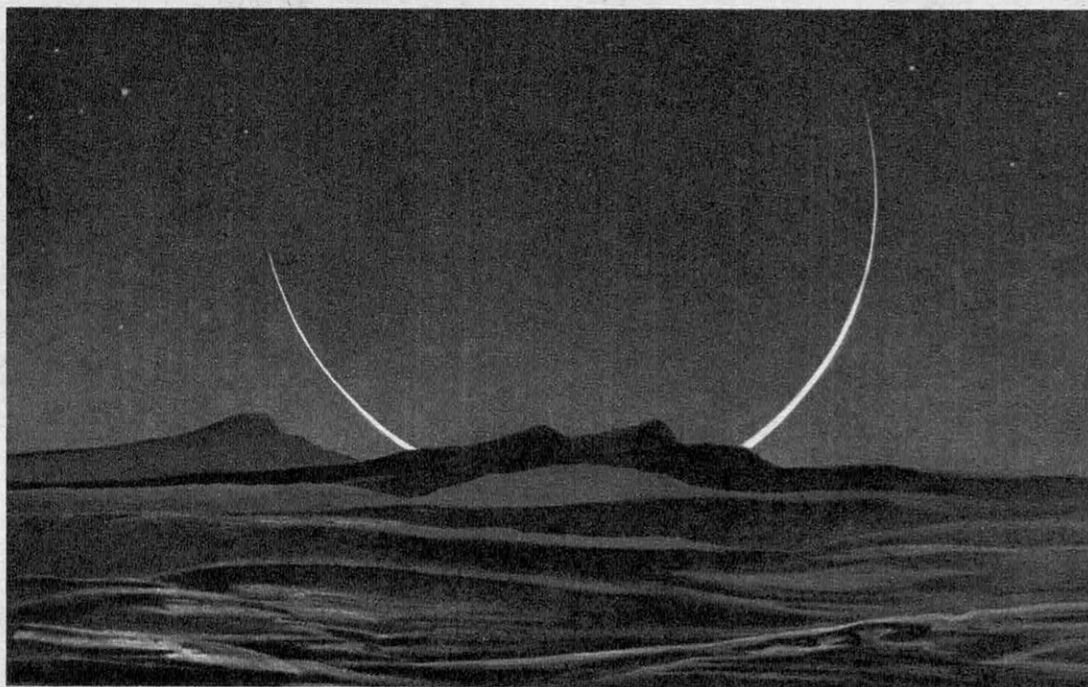
Vu de Mercure, le disque éclatant et énorme du Soleil.

firmé que les « nuages » ne sont pas formés de vapeur d'eau; elles ont permis de rejeter aussi plusieurs hypothèses qui avaient été proposées. L'idée qui rencontre actuellement le plus de faveur est que les « nuages » seraient constitués par de très fines poussières, ayant à peine un diamètre de quelques microns, en suspension dans les hautes couches de l'atmosphère.

La présence de végétaux sur Vénus est peu probable; en tout cas, ils y sont rares, puisque la décomposition du gaz carbonique, avec libération d'oxygène, n'est pas encore sensible.

La planète Mars

Le diamètre de Mars dépasse un peu la moitié de celui de la Terre. Sa masse est sensiblement dix fois plus petite. L'intensité de la pesanteur à sa surface y est presque trois fois plus faible. A cause de cette faible gravité, Mars ne possède qu'une atmosphère raréfiée. La pression atmosphérique au sol, difficile à apprécier, semble être 10 fois plus faible que la nôtre; en d'autres termes, elle est sensiblement celle qui existe dans notre atmosphère vers une altitude de 18 ou 20 kilomètres.



Croissant géant de Jupiter vu de l'un de ses satellites.

Comme l'atmosphère est transparente, l'observation du sol de Mars est aisée. Les conditions d'étude sont donc beaucoup plus favorables que dans le cas de Vénus, d'autant plus qu'au moment où la planète est le plus proche de nous, tout son disque est éclairé, tandis que Vénus nous montre alors la phase qui correspond à la nouvelle Lune. Mais la distance qui nous sépare de Mars est, à sa valeur minimum, environ 150 fois plus grande que la distance de la Lune. C'est une considération qu'il ne faut pas oublier et qui fait comprendre l'impossibilité de distinguer sur Mars des détails trop fins. En fait, les détails essentiels que l'on aperçoit sont, outre les calottes polaires, des plages colorées, sombres ou claires : plus de la moitié de la surface est rouge orange, mais certaines taches sont bleu vert.

La période de rotation de la planète a été déduite d'après les observations des détails de sa surface. Elle est de 24 heures 37 minutes, donc très voisine de celle de la Terre.

Les saisons sur Mars

Il y a des saisons sur Mars, comme sur la Terre, car l'axe de rotation de la planète n'est pas perpendiculaire au plan de l'orbite. L'inclinaison est sensiblement la même que pour la Terre. Mais les saisons sont presque

deux fois plus longues. D'autre part, la différence des saisons entre les deux hémisphères est plus prononcée, à cause de l'excentricité de l'orbite. En effet, tandis que la distance de la Terre au Soleil ne varie que de 3 %, la variation atteint 20 % dans le cas de Mars. Le principal signe visible de l'évolution des saisons est le développement plus ou moins grand des calottes polaires.

La distance moyenne de Mars au Soleil dépasse d'un peu plus de 50 % celle qui sépare la Terre du Soleil. L'énergie reçue par unité de surface, inversement proportionnelle au carré de la distance, est à peine la moitié de celle tombant sur la Terre. On prévoit aisément que la température moyenne de Mars doit être nettement inférieure au point de fusion de la glace. Les mesures montrent que la température la plus élevée, à l'équateur à midi, est de $+10^{\circ}\text{C}$. Mais un froid rigoureux de -85°C sévit à la fin de la nuit.

Comme dans le cas de Vénus, les spectroscopistes n'ont trouvé ni oxygène, ni vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars. Les observations leur ont donné comme limite supérieure de la proportion de ces gaz 0,2 % de la quantité présente sur la Terre, à surface égale. On ignore encore actuellement quels sont les constituants principaux de l'atmosphère de Mars. On pense qu'il y a surtout

de l'azote, mais la présence de ce gaz n'a pas été reconnue par la spectroscopie. Pour le moment, le seul gaz que l'on ait identifié est le gaz carbonique, non pas en abondantes quantités comme sur Vénus, mais à l'état de traces comme dans notre atmosphère.

Y a-t-il de l'eau sur Mars ?

Une question vient naturellement à l'esprit : comment concilier les résultats précédents avec l'observation des calottes polaires ? Bien que l'on en ait douté un moment, il semble établi que ces calottes sont formées de glace, car on a observé dans la lumière qu'elles réfléchissent une bande d'absorption infrarouge caractéristique de l'eau condensée. Mais un simple dépôt de givre sur le sol suffit pour donner l'aspect observé. Précisément, le degré de polarisation de la lumière venant des calottes de Mars est le même que celui produit par un dépôt de givre obtenu artificiellement au laboratoire, sous une pression réduite à la valeur qu'elle a sur Mars. La présence d'eau semble aussi démontrée par l'apparition, de temps à autre, de nuages blancs qui auraient la même nature que les nôtres. En raison de la température rigoureuse, il est possible que la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère reste si petite qu'elle ne soit pas décelable par la spectroscopie.

Il est en tout cas certain, que si un homme ou un animal terrestre était brusquement transporté sur la planète, il succomberait rapidement. Les conditions physiques sur Mars sont comparables, a-t-on dit, à celles que l'on trouverait sur un plateau terrestre à 15 000 mètres d'altitude, s'il en existait un : rigueur générale des climats, très basse température des nuits, extrême sécheresse, faible pression atmosphérique. Il faut ajouter encore l'absence presque totale d'oxygène et, peut-être, la pénétration jusqu'au sol des rayons solaires de courte longueur d'onde.

La vie sur Mars

Le problème de la vie sur Mars a été maintes fois discuté. Nous ne reviendrons pas, à ce propos, sur la question des fameux « canaux ». Sur les photographies, on distingue des objets ayant des analogies avec ceux que l'on avait désignés sous ce nom, mais ils ont des aspects variés, souvent bien différents des formes géométriques que les observateurs ont tendance à dessiner. Mais, même s'il existe des « canaux », nous ne savons pas quelle est leur nature et nous ne pouvons pas en tenir compte pour affirmer

ou pour nier la présence d'êtres vivants. Sur ce sujet, deux attitudes sont possibles : ou bien laisser libre l'imagination de chacun, ou bien accepter certaines bases pour une discussion. Parmi ces bases, il semble inévitable d'admettre que les lois de la biologie sont les mêmes dans tout l'univers, comme le sont les lois de la matière inerte. Dans ces conditions, la présence d'animaux sur Mars semble impossible. Même pour des végétaux, les conditions physiques y sont défavorables. On admet que seuls les lichens ou des plantes analogues seraient capables de résister au froid et à la sécheresse qui sévissent sur Mars. C'est peut-être au développement plus ou moins grand d'une végétation de ce type que sont dues les taches vertes, dont la coloration et l'étendue paraissent varier avec les saisons. Mais d'autres explications sont possibles ; ces plages pourraient, par exemple, être des régions riches en minéraux, dont la couleur se modifierait suivant le degré d'hydratation.

Les planètes géantes : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune

Ces quatre planètes se ressemblent non seulement par leurs dimensions beaucoup plus grandes que celles des autres planètes (la plus grosse, Jupiter, a un diamètre qui vaut 11 fois celui de la Terre ; pour la plus petite, le rapport est encore de 4) ; elles présentent entre elles d'autres analogies, par exemple leur faible densité moyenne (1,34 par rapport à l'eau dans le cas de Jupiter, 0,71 pour Saturne). Les conditions physiques que l'on trouve à leurs surfaces sont, elles aussi, semblables : valeur très basse de la température moyenne : -135°C pour Jupiter, -200°C pour Neptune. Dans de telles conditions, nombre de gaz se trouvent liquéfiés, ou même solidifiés.

D'autre part, les spectres de ces planètes montrent que leurs atmosphères contiennent en grandes quantités du méthane (CH_4) et du gaz ammoniac (NH_3) ; elles sont donc pestilentielles.

La rotation de Jupiter reste rapide, puisque, malgré son énorme diamètre, la planète tourne sur elle-même en moins de 10 heures. Les observations montrent d'ailleurs que la région équatoriale tourne plus vite que le reste. Ce fait confirme bien que la surface visible n'est pas le sol.

Planètes sans vie

Des considérations théoriques conduisent à penser qu'il doit exister de l'eau, en quantités notables, dans les planètes géantes. En



↑
Mars telle qu'on la verrait
de son satellite Phobos.

← Sur Saturne, une éclipse de
Soleil due à son anneau.



raison de la température très basse, cette eau ne peut se trouver qu'à l'état solide. Nous avons déjà dit plus haut qu'une bande d'absorption infrarouge est observée lorsque la lumière est diffusée par de la glace. On a précisément trouvé cette bande caractéristique non pas dans les spectres des planètes géantes, mais dans celui des anneaux de Saturne. Ces anneaux sont, on le sait, constitués par une multitude de petits corpuscules gravitant séparément autour de la planète. Ces corpuscules seraient donc recouverts de glace ou, peut-être, simplement formés de blocs de glace.

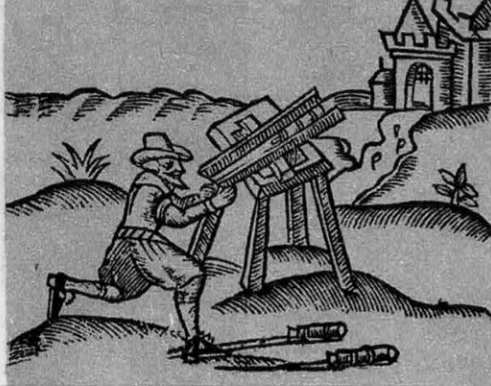
A cause de leurs températures très basses et de leurs atmosphères pestilentielles, les planètes géantes ne renferment certainement aucune forme de vie.

On ne sait rien des conditions physiques existant sur Pluton, la planète la plus lointaine du système solaire. On peut affirmer seulement que la température y est encore inférieure à celle de Neptune.

Malgré les affirmations fantaisistes que l'on rencontre encore dans certains livres, revues ou journaux, la présence d'êtres vivants sur la Lune ou les autres planètes du système solaire est sinon impossible, du moins tout à fait improbable, à l'exception, peut-être, de quelques végétaux particuliers. Un séjour sur ces astres d'hommes ou d'animaux venant de la Terre ne peut être envisagé que si l'on sait organiser pour eux des conditions spéciales de vie.

J. GAUZIT

Astronome à l'Observatoire de Lyon



De la fusée du XVII^e siècle...

MILLE ANS D'HISTOIRE DE LA FUSEE

IL est impossible, en dépit de la profusion des documents historiques, de préciser l'époque à laquelle la « fusée volante » fit son apparition. Sans doute la découverte de la matière fusante se fit-elle par étapes et fut-elle, comme beaucoup d'autres inventions, le fruit d'une série de hasards heureux.

Tout le monde s'accorde aujourd'hui à attribuer le mérite de l'invention de la poudre à canon et des fusées aux Orientaux.

Dès 970, en Chine, l'empereur Tai-Tsou, fondateur de la dynastie des Song, aurait imaginé de fixer près de la pointe des flèches, pour en augmenter la portée, un tube de bambou rempli d'une composition à base de salpêtre qu'on enflammait au moment du lancement. Mais la première date historique incontestable d'apparition de fusées dignes de ce nom comme armes de guerre est 1232. Tirées par les défenseurs de la ville de K'ai-Fong, les « flèches de flammes volantes » auraient jeté la plus grande confusion dans la cavalerie mongole. Il semble que la découverte se soit répandue à travers le monde avec une prodigieuse rapidité.





... à celles du XX°, ici des «Terrier» de la Marine américaine

Dès le ^{xiv}^e siècle, l'usage de la fusée de guerre était devenu courant en Italie. En France, ce n'est qu'au début du ^{xv}^e siècle que l'emploi de la fusée s'étend à la guerre. Les comptes des ducs de Bourgogne font état de dépenses assumées, entre 1419 et 1453, pour la fabrication de fusées de guerre.

Déclin et renaissance de la fusée

Puis, brusquement, la fusée disparaît des champs de bataille européens, ne pouvant lutter contre les nouvelles armes à feu. Elle redevint seulement un ornement pour les fêtes.

Jusqu'au milieu du ^{xviii}^e siècle, en Europe, divers expérimentateurs s'efforcèrent cependant de perfectionner les fusées de guerre, mais l'Asie se révéla alors nettement en avance sur nous puisqu'aux Indes, dès 1766, Haïder Ali constituait un corps de lanceurs de fusées de 1 200 hommes qui, en 1782, fut porté par Tippo Saïb à 5 000, tandis que la France ne possédait son corps régulier de « fuséens » qu'en 1815.

Il faut croire que l'effet meurtrier des engins hindous était considérable, car c'est à la suite des pertes subies par les Anglais au siège de Séringapatam, en 1799, que le colonel William Congreve créa à Woolwich un atelier de fabrication de fusées.

Les fusées « à la Congreve »

Au mois d'octobre 1806, sans doute pour s'assurer de l'efficacité des fusées nouvellement fabriquées, l'escadre anglaise lançait contre Boulogne 200 fusées de 3 pouces (81 mm), brûlant trois maisons et endommageant un grand nombre de navires. L'année suivante, la flotte anglaise renouvelait son exploit, mais cette fois contre Copenhague, et détruisait presque entièrement la ville en déversant sur elle une avalanche de 40 000 fusées.

Pendant la guerre contre l'Amérique, les fusées jouèrent un rôle capital lors de la bataille de Bladensburg, qui permit la prise de la capitale fédérale et son incendie. Par contre, elles échouèrent devant Baltimore; les mots « rockets' red glare » (la lueur rouge des fusées) que l'on trouve dans l'hymne national américain, ont été directement inspirés à son auteur, Francis Scott Key, par le bombardement nocturne du Fort Mc Henry auquel il assista d'un vaisseau anglais où il était retenu prisonnier.

En France, à la suite de l'attaque de la flotte anglaise dans les parages de l'île d'Aix, en 1809, où un brûlot anglais chargé de

fusées avait été capturé, on entreprit la fabrication de fusées de plus en plus perfectionnées, mais toujours en nombre réduit. Leur étude se poursuivit jusqu'en 1872. À ce moment, surclassée par le canon rayé, beaucoup plus précis, et dont on savait absorber le recul, la fusée disparut à nouveau des champs de bataille.

Les recherches modernes

Il semblait bien, au début du siècle, que la cause fût définitivement entendue. La fusée au passé si glorieux ne subsisterait plus que sous la forme de fusées pour feux d'artifices, de fusées de signalisation, de fusées paragrèles ou de fusées porte-amarres pour le sauvetage en mer.

En réalité, tout restait à faire et un champ immense d'applications nouvelles allait bientôt s'ouvrir devant elles.

Les travaux originaux qui allaient orienter les recherches sur des voies nouvelles et fécondes furent l'œuvre de chercheurs isolés, disposant de moyens financiers précaires. Le but qu'ils semblaient poursuivre était bien de ceux qui devaient laisser sceptiques les services gouvernementaux. Ne s'agissait-il pas d'étudier des engins capables d'entreprendre des voyages hors de l'atmosphère terrestre? C'est bien la recherche astronautique en effet qui donna l'impulsion première aux travaux modernes sur les fusées.

Le mérite en revient en premier lieu au Russe Constantin Edouardovitch Tziolkowsky qui, dès 1896, avait souligné que la fusée était le seul moyen de propulsion possible hors de l'atmosphère et suggéré de substituer aux combustibles solides, seuls employés jusque-là, des combustibles liquides. Les suggestions de Tziolkowsky influencèrent profondément les travaux du Roumain Oberth, et indirectement ceux du physicien américain Goddard.

L'Américain Goddard

Robert H. Goddard, professeur au Clark Collège de Worcester, avait entrepris dès 1909 des recherches sur les fusées de sondage de la haute atmosphère. Il s'intéressa tout d'abord, comme ses devanciers, aux fusées à poudre, mais semble avoir été le premier à bien comprendre l'importance de la vitesse d'éjection et les avantages des combustibles liquides pour les grandes portées. C'est en 1926 qu'il lança la première fusée à liquides (oxygène liquide et essence). Elle parcourut 56 m en 2,5 secondes. En 1929, un autre engin de sa construction monta à 300 m.



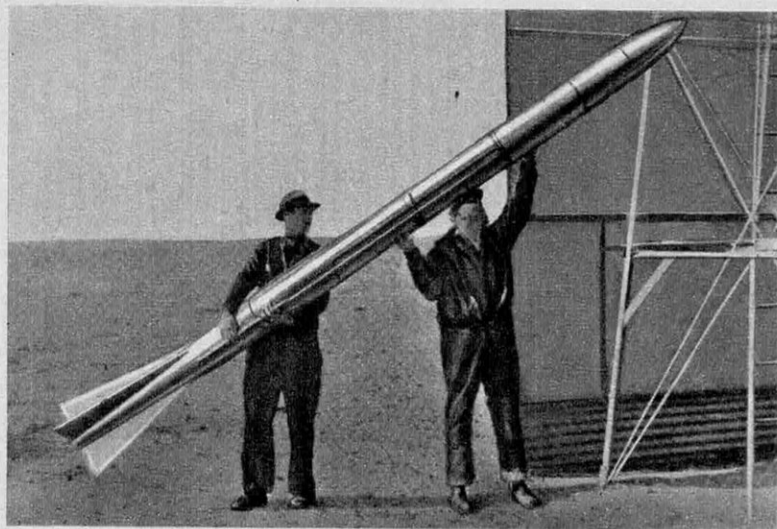
Le bombardement par fusées était déjà pratiqué au XIX^e siècle. Le plus mémorable fut celui de Copenhague, les 4 et 5 avril 1807, par la flotte anglaise: 40 000 fusées incendièrent des quartiers entiers, tuant plus de 2 000 personnes.

Soutenu par le mécène Daniel Guggenheim, le professeur Goddard put poursuivre ses recherches sur une plus grande échelle et s'attaquer aux multiples problèmes que posait la réalisation de ses engins: forme et refroidissement de la chambre de combustion, disposition des réservoirs de combustible et de comburant dans le corps de la fusée, mise au point du système d'alimentation, stabilisation automatique de la trajectoire. Goddard est sans doute le premier à avoir réussi à utiliser dans ce dernier but les systèmes gyroscopiques.

Les essais entrepris entre 1930 et 1932 permirent d'atteindre des vitesses de 930 km/h, puis 1 185 km/h. Enfin, le 31 mai 1935, une fusée pesant au départ une quarantaine de kilogrammes monta à 2 750 m.

Goddard a été non seulement un physicien hors de pair et un expérimentateur ingénieux, mais aussi un mécanicien d'une adresse exceptionnelle. Il ne prit pas moins de 150 brevets sur les sujets les plus divers, sans compter ceux qui demeurent encore secrets. Malheureusement ses recherches ont rarement abouti à des réalisations exploitées sur le plan pratique. Ses travaux n'ont probablement pas été sans influence sur l'orientation de la technique américaine des engins spéciaux, mais il fait surtout figure aujourd'hui de génie méconnu de son vivant.

Ne quittons pas les États-Unis sans mentionner les essais de G.E. Pendray qui avait eu l'occasion d'assister en Allemagne aux expériences de la « Rakettenflugplatz » dont nous parlerons plus loin, et de ses



Fusée à liquides expérimentée en 1935 par l'Américain Goddard dans le désert du Nouveau-Mexique. L'engin, de 3 m de long, était doté d'un dispositif de stabilisation automatique sur sa trajectoire. La tour servant au lancement atteignait 18 m de haut. On procède ici à la mise en place de la fusée à la base de la tour.

émules, en particulier Bernard Smith. Après quelques lancements plus ou moins réussis, les Américains entreprennent une expérimentation méthodique des combustibles liquides à l'aide d'une chambre de combustion démontable et dont les dimensions peuvent varier; on pouvait y adapter diverses tuyères.

A la suite de ces recherches, l'Institut Technologique d'Annapolis, en Californie, entreprit à son tour une série d'essais.

A partir de 1931, l'American Interplanetary Society avait encouragé les expériences sur les fusées à liquides près de New York; celles de Californie eurent lieu sous la direction du célèbre aérodynamicien von Karman. Ainsi se formèrent de petits centres d'expérimentateurs auxquels vinrent se joindre vers 1933 des réfugiés allemands. Bien que sans aucun lien avec les organismes officiels, ils n'en rassemblèrent pas moins une intéressante moisson de résultats dont profitèrent les réalisations américaines de la deuxième guerre mondiale.

Le Roumain Oberth

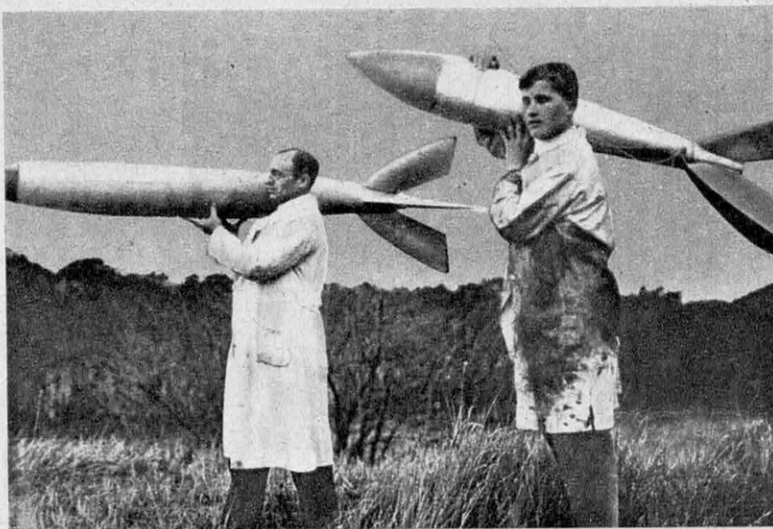
En Allemagne, où la fusée à longue portée devait finalement voir le jour, les recherches débutèrent d'une manière assez inattendue. Un professeur roumain, Hermann Oberth, influencé sans aucun doute par les idées émises par Tziolkowsky, avait été amené à préconiser l'emploi de l'hydrogène et de l'oxygène liquides pour les voyages extra-terrestres et celui de l'alcool et de l'oxygène liquide pour la propulsion à basse et moyenne altitudes. C'est précisément ce mélange qui servit beaucoup plus tard sur les V-2. Il en arriva finalement à dessiner des

modèles de fusées interplanétaires à multiples étages devant fonctionner sur ces principes et les publia en 1923. Quelques années plus tard, en 1927, la firme cinématographique allemande U.F.A. imagina de tourner un film d'anticipation « Une Femme dans la Lune », et le producteur Fritz Lang offrit à Oberth d'importants crédits pour la construction d'une fusée conformément aux idées exposées dans son ouvrage. Des essais préliminaires furent entrepris avec les combustibles et les comburants les plus variés. On s'arrêta finalement à l'essence et l'oxygène liquide, et, en juillet 1929, deux fusées en magnésium furent construites, de 1,50 et 1,90 m de long. Malheureusement, les commanditaires trouvèrent sans doute ces expériences trop onéreuses et peu utiles et, renonçant à voir construire la grande fusée imprudemment promise par Oberth, résilièrent le contrat.

Mais la publicité faite autour du film servit d'une manière inespérée la cause astronautique et, surtout en Allemagne et en Autriche, suscita de nombreuses vocations. A Berlin, en particulier, on vit éclore au début de 1928 une véritable frénésie de recherches sur l'application du principe de la réaction à la propulsion des véhicules les plus divers : automobiles, wagonnets, traîneaux, bateaux, planeurs, etc. Elles étaient pour la plupart sans grande valeur, mais non dépourvues de danger, car elles faisaient appel en général à de la poudre à canon comprimée. C'est ainsi qu'en 1933, l'ingénieur Reinhold Tilling trouva la mort avec ses deux collaborateurs dans une violente explosion qui anéantit son laboratoire.

Paul Heylandt, spécialiste des gaz liquéfiés, étudia les fusées à oxygène liquide,

Ces V2 en puissance furent mises au point en 1930 et 1931 par Oberth, Riedel et Nebel. Longues de 2,18 m et d'un diamètre de 35 cm, elles auraient dû théoriquement s'élever à 20 km d'altitude. Dans la réalité, elles ne dépassèrent pas 100 m. Elles présentaient pourtant déjà tous les caractères des futures fusées V2.



mais son collaborateur Max Valier fut tué au cours d'une de ses expériences.

C'est aussi vers cette époque que se situe la grande vogue des fusées postales auxquelles s'attachent surtout les noms de Fritz Schmiedl et de Gerhard Zücker. Le premier fabriqua à Gratz treize fusées avec lesquelles il entreprit de transporter du courrier, la première tentative ayant lieu le 2 février 1931. Elles lui donnèrent satisfaction. Leurs caractéristiques étaient les suivantes : matériau utilisé, aluminium ; hauteur 1,70 m ; largeur 0,25 m ; poids à vide 7 kg ; poids de la charge de poudre 24 kg. Quant à Zücker, il réussit à intéresser à ses fusées postales le Postmaster-General britannique et fit des démonstrations en Angleterre et en Écosse, qui ne furent suivies d'aucune tentative d'exploitation.

Le «Raketenflugplatz»

Beaucoup plus sérieux et plus utiles, car il faut y voir l'origine de la V-2, furent les travaux entrepris par des groupements de chercheurs enthousiasmés par les problèmes astronautiques, dont le plus actif fut le « Verein für Raumschiffahrt » (Association pour l'Astronautique) qui se constitua à Berlin en 1929. Oberth, Engel, Nebel, Riedel, von Braun, Willy Ley en furent les principaux animateurs. Ils équipèrent à Reinickendorf un centre de recherches sur les fusées et, dès l'origine, suivant les suggestions d'Oberth, résolurent d'appliquer leurs travaux uniquement aux fusées à liquides. Prenant logiquement la suite des expériences de 1929, ils jetèrent leur dévolu sur le mélange essence-oxygène liquide et étu-

dièrent la nature des matériaux les plus qualifiés pour constituer les éléments du moteur-fusée.

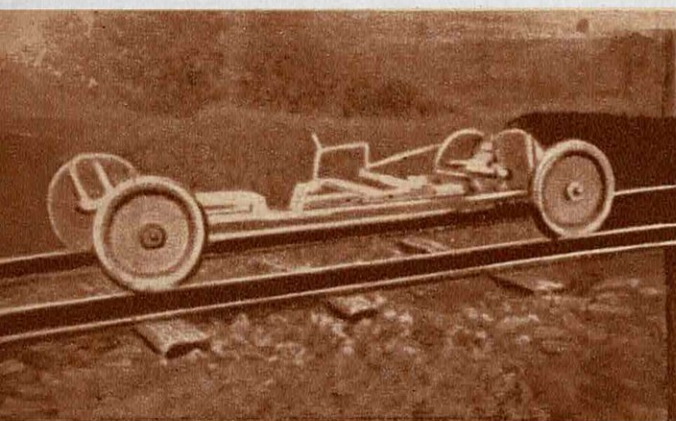
Les premières tentatives furent décourageantes, mais un programme d'études méthodiques fut établi. Pour des raisons d'économie, on construisit des fusées ayant les plus petites dimensions possibles. On les baptisa « Mirak » (Minimum-Rakete ou fusées minimum). Un certain nombre de fusées de ce genre furent construites.

Les expériences de la « Raketenflugplatz » débutèrent dans une atmosphère d'amateurisme. Mais, peu à peu, le gouvernement du III^e Reich leur apporta une attention de plus en plus intéressée. Elles se terminèrent dans le plus grand secret, à la demande des militaires, et se poursuivirent dans les immenses laboratoires de Peenemünde d'où devait sortir la V-2.

Autres pays

C'est donc en Allemagne que les recherches sur les fusées prirent le plus d'extension avant la deuxième guerre mondiale. Cela ne veut pas dire qu'on ne s'y intéressât pas dans les autres pays, mais les travaux manquèrent de coordination et de continuité.

En France, Robert Esnault-Pelterie, prenant pour base de ses recherches les données théoriques qu'il avait exposées quelques années auparavant, envisagea en 1931 l'emploi de fusées à oxygène liquide, puis à tétranitrométhane liquide à la température ordinaire. Au cours d'un essai effectué sans un outillage suffisant, il a quatre doigts de la main gauche arrachés. Avec courage et persévérance, il reprend alors l'oxygène liquide en cherchant d'abord à obtenir un



1

1 Un wagonnet propulsé par fusées à poudre fut expérimenté par Max Valier en juillet 1928. Actuellement des engins de conception analogue servent à des études aéronautiques.

2

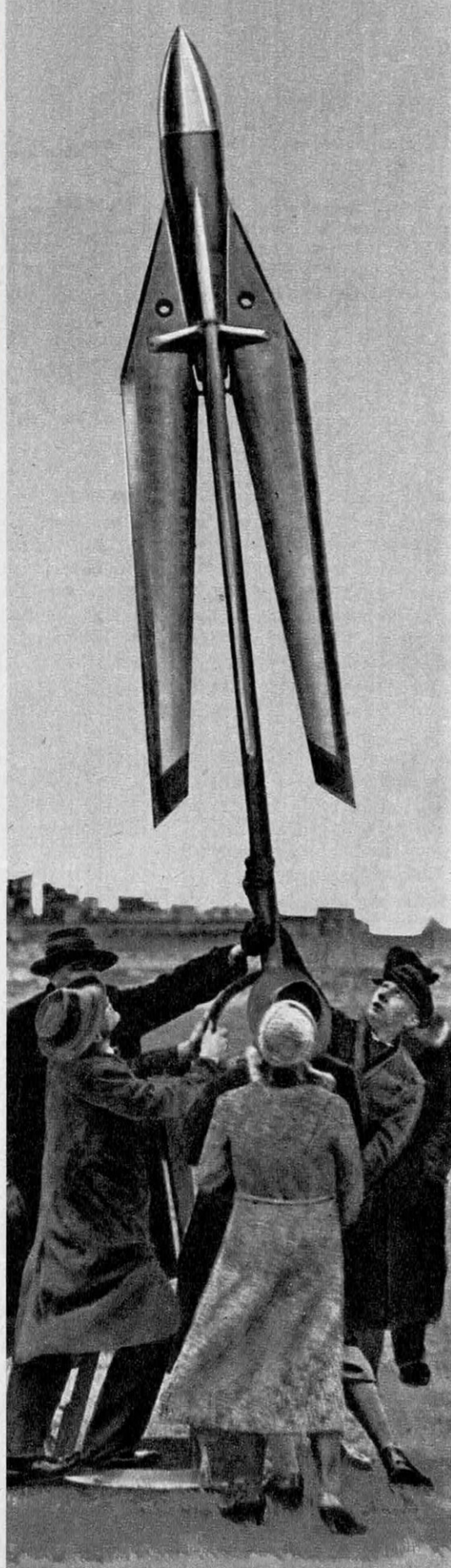
2 Fusée à poudre conçue par Tilling. Grâce à un dispositif qui ouvrait les ailes, et qui permettait de planer, sa portée atteignit 18 km aux essais sur le terrain de Tempelhof en Allemagne.

3 Les grandes vitesses sur l'eau sont obtenues aujourd'hui avec des coques propulsées par un turboréacteur. Celle-ci, plus modeste, faisait appel à des batteries de fusées de faible puissance.

4 De 1927 à 1929, un tel engouement se manifesta en Allemagne pour la propulsion par fusée qu'on l'appliqua audacieusement à presque tous les modes de locomotion, ici à une motocyclette.



Des patineurs se firent propulser par des fusées fixées à leur dos. Ils ne devaient pas relever le buste sous peine de chutes assez dangereuses.



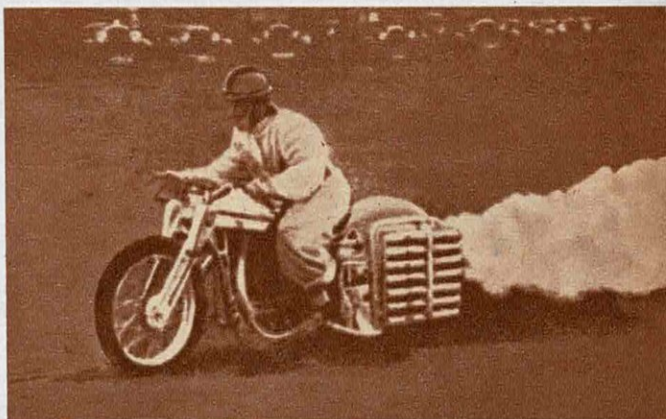


3

dosage exact des réactifs en les refoulant par une pompe. Mais la construction de la pompe se révèle trop délicate. Esnault-Pelterie envisage alors l'emploi d'un « doseur vibrant ». Un modèle d'essai fut construit et vibra du premier coup conformément aux calculs, bien que réalisé de façon rudimentaire. En 1932, l'ingénieur Louis Dambanc reprit à son tour les recherches sur les fusées à poudre.

En Italie G.A. Crocco, en Russie Razoumov, en Autriche Eugen Sänger, travaillèrent sur des fusées à combustibles liquides.

En Grande-Bretagne, les recherches les plus importantes concernèrent les combustibles solides. Les premiers lancements

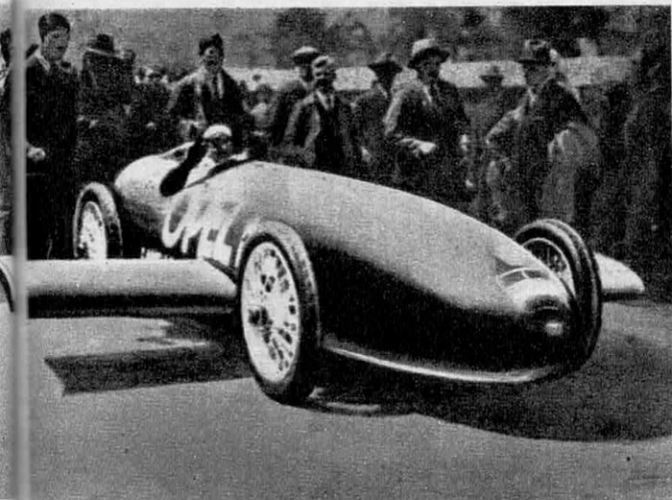


4

eurent lieu à la Jamaïque quelques mois avant la guerre. Ces fusées rendirent des services inespérés lors de l'attaque des Îles Britanniques par l'aviation allemande.

La deuxième guerre mondiale

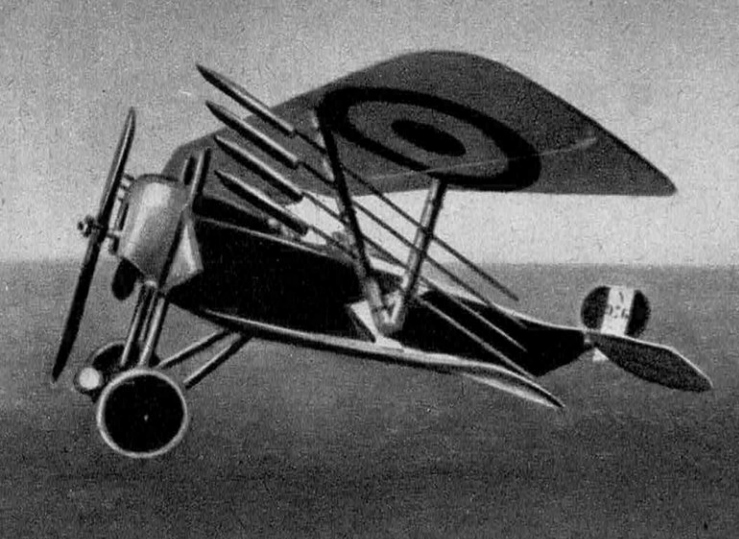
Tous les belligérants ont utilisé les fusées au cours de la dernière guerre mondiale et on a pu voir éclore en l'espace de quelques années une extraordinaire floraison d'engins. Les forces américaines, pour leur seule part, ont tiré des millions de fusées. A l'aube du jour où les Japonais attaquèrent Pearl Harbor, ni l'Armée, ni la Marine américaines ne possédaient une seule fusée; le jour de la capitulation japonaise, l'Armée



Cette voiture construite par Opel, atteignit 170 km/h, le 23 mai 1928, sur l'Avus de Berlin. L'allumage successif des fusées se faisait du tableau de bord.



Le premier planeur à réaction piloté par Opel. Le 30 septembre 1929 il parcourut 1 500 m. La propulsion était assurée par six fusées à poudre.



Les roquettes tirées d'avion étaient déjà utilisées au cours de la première guerre mondiale, en 1916, sous forme de fusées à poudre montées sur des avions Nieuport (photo de gauche) pour la destruction des ballons captifs allemands. Celles du chasseur américain F 102 A, ci-dessous, sont autrement plus meurtrières et rapides.

américaine prévoyait d'en faire fabriquer pour 150 millions de dollars par an, et 1 200 usines travaillaient aux fusées de la Marine, dont le programme était encore huit fois plus considérable.

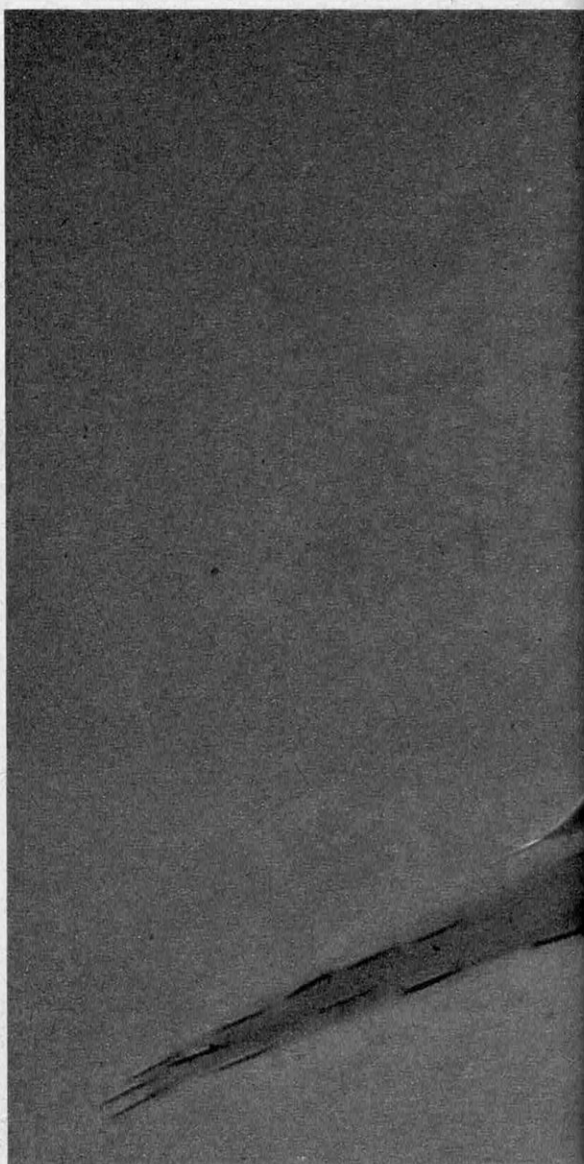
Il s'agissait essentiellement de fusées à combustibles solides, que nous ne pouvons songer ici à énumérer toutes, depuis celles que lançaient les « bazookas », les « orgues de Staline » ou les « Nebelwerfer », jusqu'aux fusées antiaériennes ou celles qu'adoptèrent navires et avions.

Les véritables innovations dans le domaine des engins autopropulsés consistent dans la mise au point de propulseurs à combustibles liquides. A la fin de la guerre, quelques-uns des engins à « propergols » liquides, selon la nouvelle terminologie, avaient été mis en œuvre. Le plus célèbre est la V-2 allemande sur laquelle nous reviendrons. Un beaucoup plus grand nombre était en expérimentation ou en projet.

Nous citerons seulement, parmi les engins allemands, le « Schmetterling » ou Heinkel 117, la « Wasserfall », la « Rheintochter », l'« Enzian », la « Taifun », etc. ; parmi ceux étudiés par les Alliés, les fusées « Tiamat », « Gorgon » et « Gargoyle ».

La V-2

Le plus intéressant des engins réalisés pendant la guerre est assurément la V-2 allemande, aboutissement direct des recherches d'avant la guerre. A sa réalisation s'attachent les noms du général Karl Becker, éminent spécialiste de la balistique, du colonel Dornberger qui dirigea le centre de Peenemünde, sur la Baltique, et de Wernher von Braun, ancien membre du « Verein für Raumschiffahrt ». C'est en



Les 24 roquettes

1935 que fut prise la décision de créer à Peenemünde un centre d'études où serait poussé activement le projet. Toute une série de projectiles, A-1, A-2 etc., furent successivement réalisés et essayés, suivant les idées générales préconisées par Oberth qui, appelé sur le tard à coopérer, ne joua dans la mise au point effective qu'un rôle effacé.

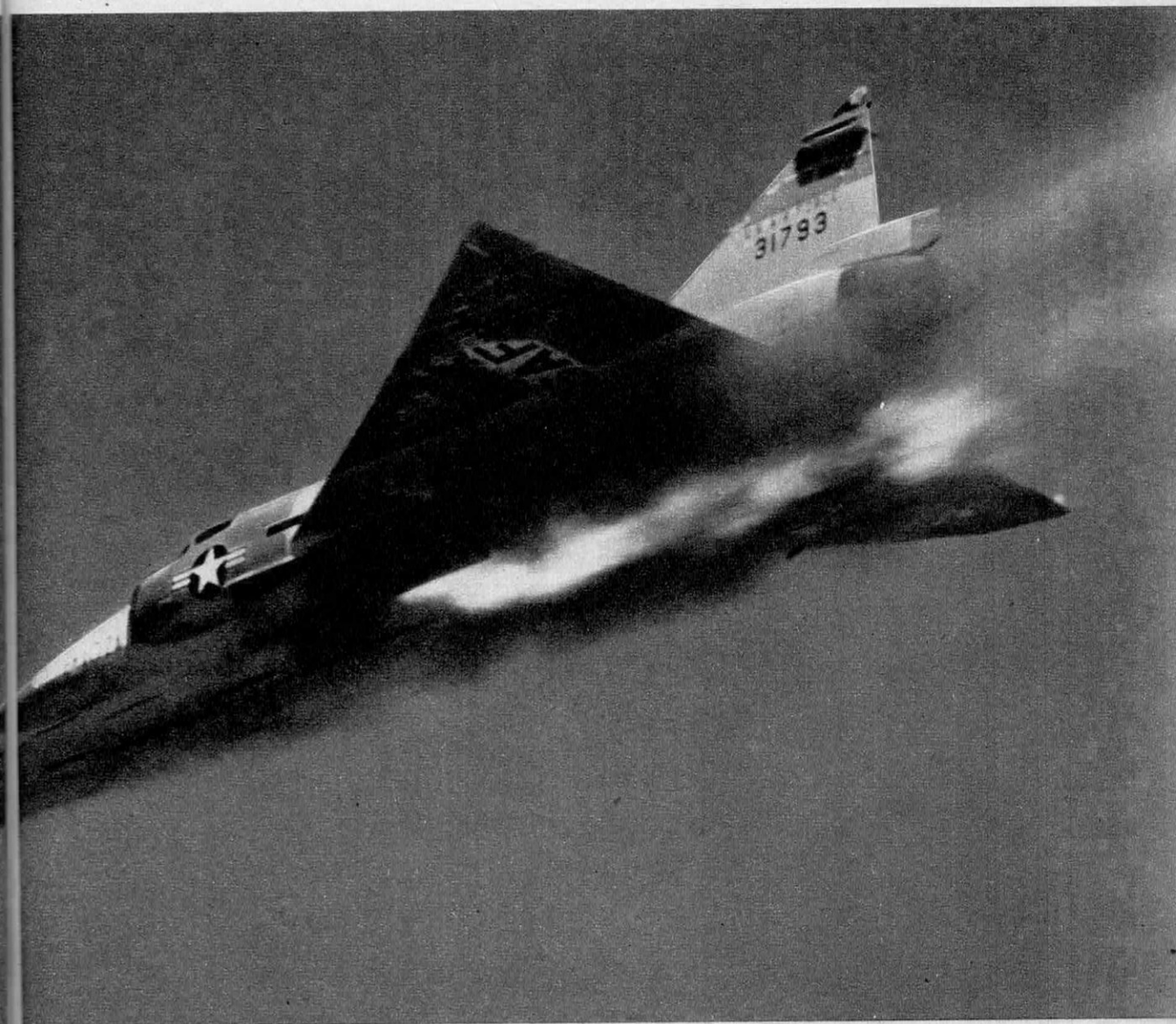
En octobre 1942, la fusée A-4, qui devait être la V-2, parcourut 270 km et les ordres furent donnés pour la fabrication en série sur une très grande échelle. La seule usine souterraine de Nordhausen en produisit 30 par jour, si bien que deux ans plus tard, l'Allemagne

n'en possédait pas moins de 12 000, malgré le bombardement de Peenemünde par la R.A.F. en juillet 1943.

La V-2 mesurait 14 m de longueur et 1,70 m de diamètre. Son poids total était de 12,5 tonnes au lancement et elle emportait une charge explosive de 975 kg.

Londres reçut au total 2 000 V-2 et Anvers 1 600.

Parmi les autres projets étudiés à Peenemünde, il faut accorder une mention particulière aux engins A-9 et A-10. La fusée A-9 n'était autre qu'une A-4 (V-2) munie d'ailes en flèche dont on attendait une portée de 480 km. Mais elle devait surtout constituer le second étage d'une fusée com-

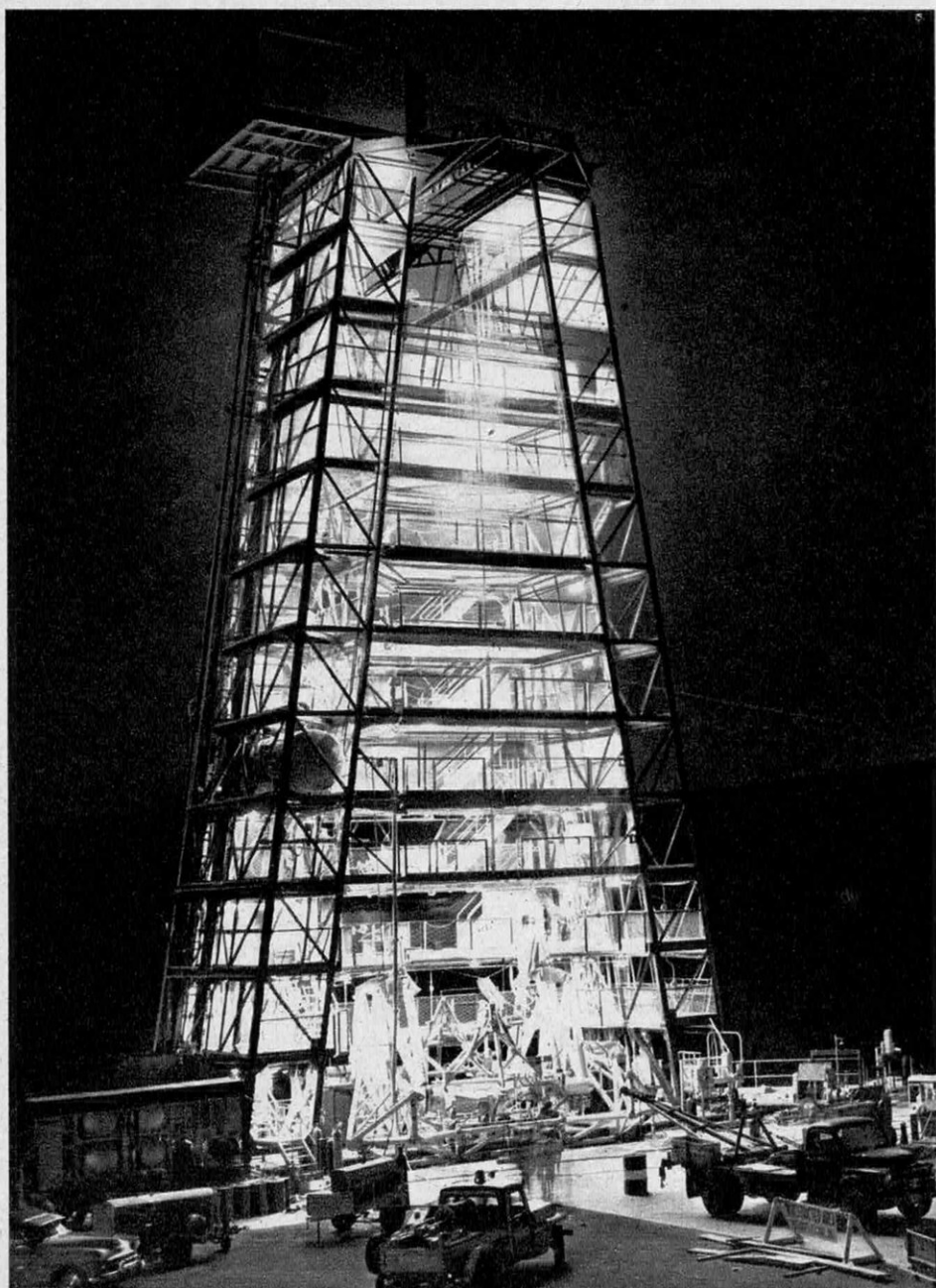


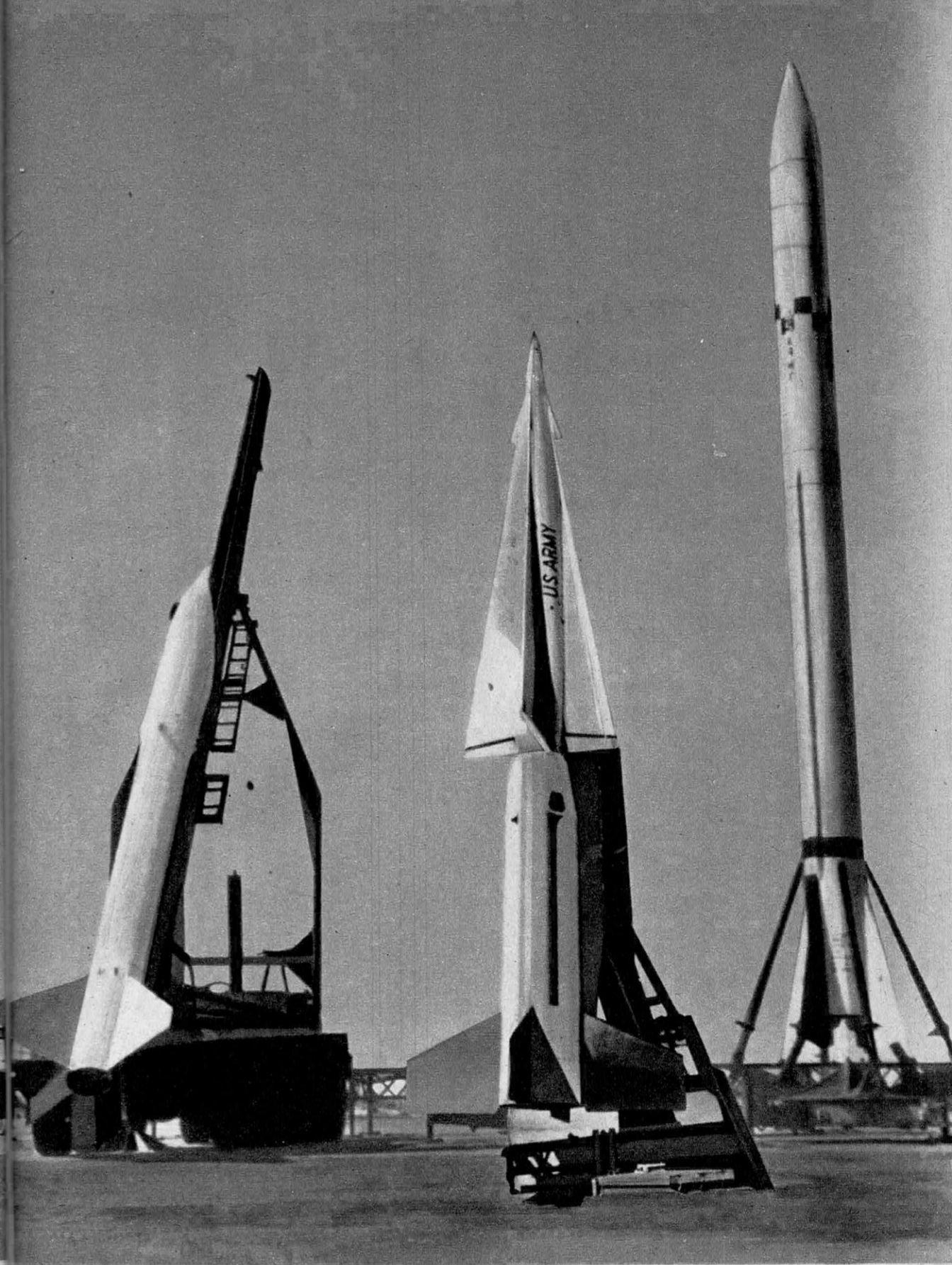
du Convair F 102A sont tirées par paires à 1/10 de seconde d'intervalle.

Quelques engins typiques des forces armées américaines

SUR la photo de droite, trois des fusées en service dans l'armée. L'« Honest John » et le « Corporal » sont des engins de bombardement qui peuvent être munis d'une charge nucléaire et dont les portées respectives sont de 32 et 160 km; la première est à poudre, la seconde est propulsée par un mélange liquide. La « Nike Hercules » est une fusée de D.C.A. téléguidée qui atteint 135 km. Ci-dessous on peut voir le banc d'essais préparé par l'Air Force, près de San Diego, en Californie, pour la fusée intercontinentale Atlas qui doit être une des répliques aux fusées similaires russes. La portée de cet engin doit être de l'ordre de 8 800 km.

Le banc d'essais de l'« Atlas ».





De gauche à droite: l'« Honest John », la « Nike Hercules » et la « Corporal ».



Le grand défilé des fusées russes

C'est au cours du dernier anniversaire de la Révolution d'Octobre que les Russes firent leur plus grand étalage d'engins. La plupart d'entre eux, transportés sur remorques ou chenillettes comme celles ci-contre,

posite dont le premier étage A-10 devait peser 87 tonnes et donner une poussée de 200 tonnes pendant 50 secondes. Elle devait utiliser un système d'alimentation par azote comprimé. Ainsi propulsée par l'étage A-10 pendant une partie de son trajet et grâce à la vitesse initiale qu'il lui aurait communiquée, la fusée A-9 devait avoir une portée de 5 600 km. On espérait, depuis l'Allemagne, bombarder l'Amérique.

Depuis la guerre, tant en Amérique qu'en Angleterre, en Australie, en France, et en U.R.S.S., les expériences sur les fusées se sont poursuivies et la technique a considérablement progressé. Des moteurs d'une puissance énorme ont été réalisés aux États-Unis et en U.R.S.S. pour la propulsion des engins guidés.

Les fusées ionosphériques

Nous ne pouvons ici songer à décrire toutes les fusées actuelles, ni même à les énumérer tant sont variées leurs réalisations et leurs applications, depuis l'assistance au décollage des avions de transport jusqu'à la propulsion des intercepteurs supersoniques,

depuis les « roquettes » tirées en combat aérien jusqu'aux projectiles balistiques intercontinentaux capables de transporter une bombe H.

Particulièrement intéressantes pour l'astronautique sont les fusées dites « ionosphériques » destinées principalement à l'étude directe de la très haute atmosphère.

De nombreux types ont été réalisés aux États-Unis, dont certains plus ou moins inspirés de la V-2. Une centaine de ces derniers engins capturés en Allemagne furent transportés et lancés aux États-Unis où l'un d'eux atteignit l'altitude maximum de 180 km. Le 24 février 1949, un engin composite constitué par une V-2 surmontée d'une « Wac Corporal » permit à cette dernière de monter à 402 km d'altitude.

La « Wac Corporal » est une fusée de 4,80 m de long et 30 cm de diamètre, propulsée par un mélange d'acide nitrique et d'aniline, avec alimentation par air comprimé. Le propulseur développe une poussée de 67 kg pendant 45 secondes. Le lancement s'effectue à l'aide d'une fusée auxiliaire dans une tour de 30 m de haut. La « Wac Corporal » peut emporter 11 kg de charge utile à 70 km d'altitude.



étaient dévoilés pour la première fois aux attachés militaires occidentaux. Aucune indication d'emploi ni de performances n'a été donnée. Certains de ces engins devaient être des projectiles sol-air, ceux de la

page de droite, par exemple; d'autres des projectiles tactiques sol-sol, comme ceux de la page de gauche. On ne vit dans ce défilé aucun engin qui, par sa taille, aurait pu servir à un lancement de satellite.

L'« Aerobee », mise au point en 1947, est une fusée capable d'emporter une charge utile de 65 kg à 160 km d'altitude. Sa longueur est de 6 m et son diamètre de 38 cm. On en a lancé plusieurs centaines avec succès et 50 lancements sont prévus au cours de l'Année Géophysique Internationale. Une fusée dérivée, l'« Aerobee-Hi » a atteint 262 km.

La « Viking » (ex-Neptune) est assez semblable à la V-2 dans sa conception générale. Le dernier modèle est long de 12 m, avec un diamètre de 1,20 m et un poids total au départ voisin de 6,5 tonnes. Propulsée par de l'éthanol pur (alcool éthylique) et de l'oxygène liquide, elle emporte une charge utile de près de 250 kg et a atteint l'altitude maximum de 253 km.

Record d'altitude : 6 400 km

La « Terrapin », fusée à poudre de dimensions réduites (4,50 m de long), doit être construite au nombre d'une centaine pour l'étude de l'atmosphère jusque vers 120 km d'altitude. Elle fait partie d'une classe de fusées beaucoup moins coûteuses que les « Viking » et « Aerobee », parmi lesquelles

on peut citer encore les « Asp », « Wasp », « Nike-Cajun », etc. Signalons enfin les « Rockaire » et les « Rockoon », fusées lancées, les premières d'un avion, les secondes d'un ballon. C'est par une telle combinaison que l'altitude record de 6 400 km a pu être atteinte par une fusée à 4 étages lancée à 30 km d'altitude par un ballon en plastique (Opération Far Side). Au cours de l'Année Géophysique Internationale, les États-Unis lanceront quelque 200 fusées de types divers.

La Grande-Bretagne possède avec le « Skylark » une fusée à combustible solide capable d'atteindre, avec propulseur auxiliaire de lancement, 210 km d'altitude, avec une charge utile de 30 kg.

En France, enfin, la fusée à combustibles liquides « Véronique » mesure 7,30 m de long et pèse environ 1 500 kg au départ. Elle est lancée verticalement, guidée sur les 50 premiers mètres de son parcours par quatre fils qui se déroulent régulièrement, fixés aux extrémités des bras d'un empennage cruciforme. Le modèle le plus récent monte à 220 km. Enfin, la fusée « Monica » à trois étages, plus économique, atteint 150 km pour le type de 154 kg.

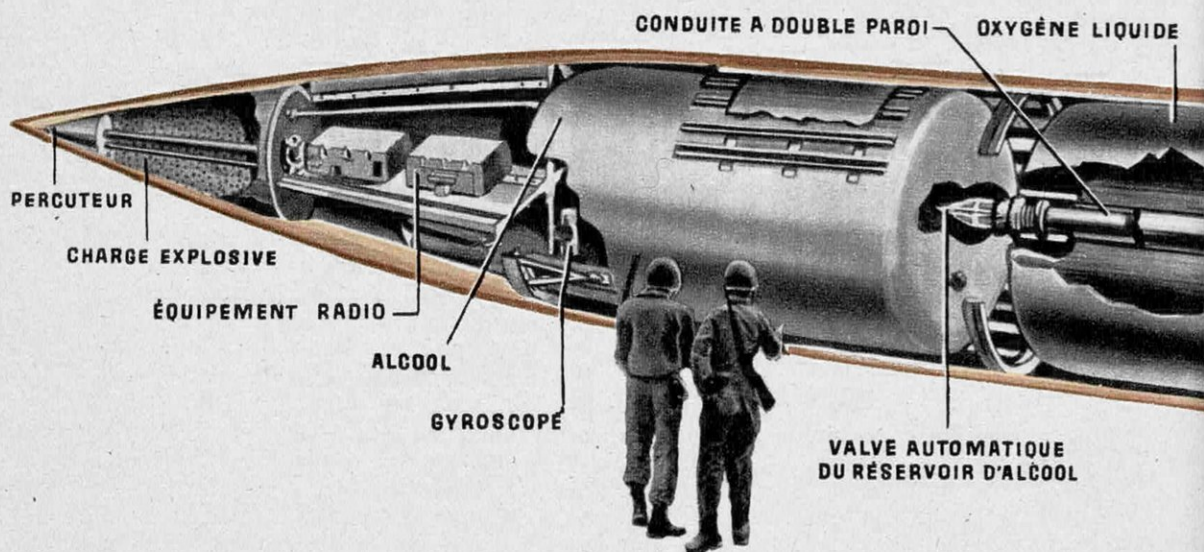
LA PROPULSION PAR FUSÉE

DU moteur à explosions à la fusée, en passant par le turboréacteur et le statoréacteur, la navigation aérienne dispose d'une gamme de moyens de propulsion adaptés à tous les types de véhicules, au plus lent comme au plus rapide.

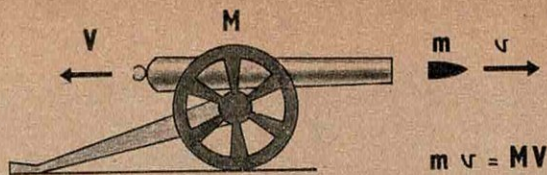
Ce seul classement dans l'ordre des vitesses susceptibles d'être atteintes désignerait la fusée pour celles de plusieurs milliers de mètres par seconde qui sont indispensables en astronautique.

Mais une autre raison ôte toute hésitation. La navigation interplanétaire n'est pas de la navigation aérienne. Il lui manque l'atmosphère comburante qui forme une mince couche autour de la Terre et qui n'existe même pas sur tous les astres.

Faute de matière au milieu de laquelle il se déplace, le véhicule spatial ne peut appliquer à sa propulsion le principe commun de tous ceux qui naviguent au milieu d'un fluide : rejeter vers l'arrière en accroissant leur vitesse les particules de fluide prélevées



LA V-2 A ALCOOL ET OXYGÈNE LIQUIDE



Principe de la réaction. Soit un canon de masse M lançant un projectile m : les vitesses respectives V et v sont en sens contraire, les produits MV et mv sont égaux.

sur l'avant. Il ne peut rejeter qu'une seule matière, celle qu'il aura emportée avec lui.

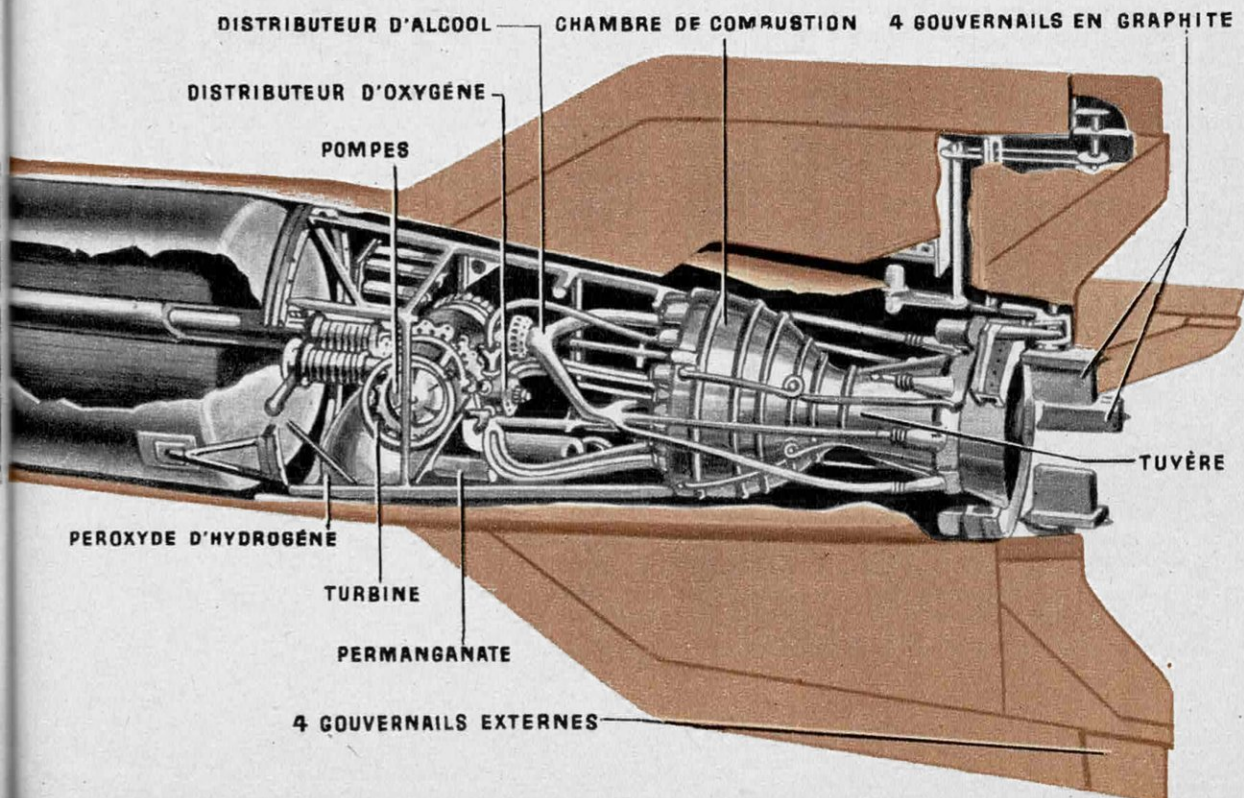
Le principe de la fusée

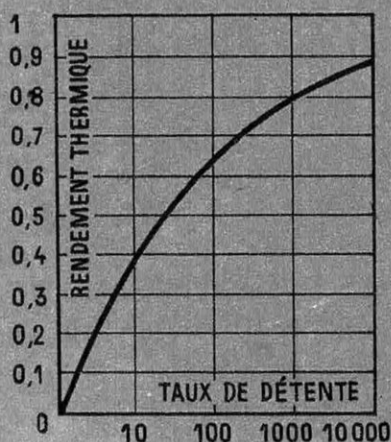
La propulsion par fusée, obtenue par simple projection de matière en sens inverse du mouvement désiré, paraît toujours un peu mystérieuse. Les non-initiés veulent bien en croire les équations de la mécanique. Mais ils aimeraient voir la force qui produit le mouvement, aussi clairement qu'ils voient la réaction du sol qui fait avancer l'homme à pied ou la roue du véhicule à propulsion mécanique.

Ils attribuent quelquefois à un effet semblable le principe qui pousse vers l'avant le véhicule-fusée. En soufflant à grande vitesse son jet de gaz vers l'arrière, celui-ci prendrait appui sur l'air ambiant et pousserait par réaction vers l'avant le véhicule qui le projette. Cette explication a pour premier défaut de ne pas s'appliquer au vide, où la

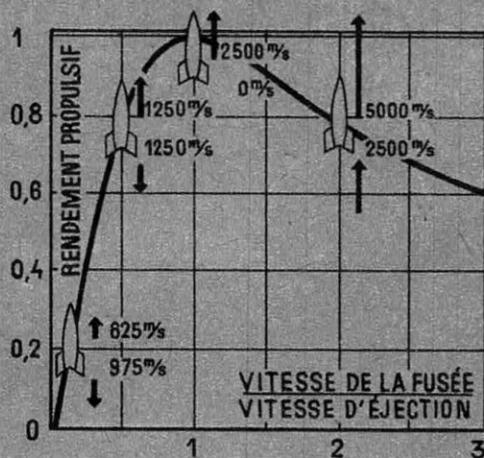
fusée exerce sa force de propulsion tout aussi facilement, et même mieux, que dans l'air. Elle ne vaut pas davantage pour cet autre aspect paradoxal de la propulsion par fusée, qui est notamment le cas de l'astronave se déplaçant plus vite que les gaz qu'il éjecte : comment ce jet de gaz, qui, pour l'observateur extérieur, se déplace comme la fusée vers l'avant, prendrait-il appui sur le milieu ambiant, à supposer qu'il y en ait un ?

Ce n'est donc pas à l'extérieur, mais dans la fusée elle-même qu'il faut chercher la force qui la propulse. Si l'on met sous pression un corps de fusée fermé de tous côtés, la résultante générale des forces de pression est nulle. Qu'on débouche un orifice à l'arrière et, sur la section de celui-ci, rien ne vient compenser la pression qui s'exerce sur la partie correspondante de la face avant. La force qui propulse la fusée est donc cette pression interne non équilibrée appliquée, sur l'avant, à une section égale à celle qu'on





← Le rendement thermique d'une fusée est représenté ici en fonction du rapport de la pression développée dans la chambre de combustion à la pression ambiante; il augmentera donc à mesure que la fusée s'élèvera et que la pression atmosphérique diminuera. La détente des gaz est supposée s'effectuer sans échanges de chaleur avec les parois de l'engin.



ouvre sur l'arrière. Ou plutôt, telle en serait bien la valeur si la pression dans le jet de gaz à sa sortie tombait exactement au niveau de la pression ambiante et si, au voisinage de l'orifice, l'écoulement ne modifiait pas la valeur de la pression interne. L'affaire se complique encore lorsque, pour améliorer le rendement, on substitue à l'orifice percé dans la paroi une tuyère de forme plus savante. Mais ce sont là des corrections qui n'ôtent rien à l'essentiel du phénomène.

Les lois de la mécanique, en l'espèce ce qu'on appelle le « théorème des quantités de mouvement », donnent l'expression exacte de la force de propulsion sous une forme particulièrement simple : la fusée est poussée vers l'avant par une force égale et opposée à la « quantité de mouvement » vers l'arrière des gaz éjectés par seconde, c'est-à-dire au produit de la masse éjectée en une seconde par la vitesse d'éjection. La formule n'est exacte, en toute rigueur, que si les gaz sont détendus par la tuyère à la pression ambiante, valeur qui correspond d'ailleurs au maximum du rendement.

Le rendement thermique

Rien, dans ce qui précède, ne fait intervenir la vitesse de la fusée : la poussée en est indépendante. Elle est la même que la fusée soit au repos ou qu'elle se déplace plus ou moins vite.

Le « rendement thermique » caractérise cette transformation de l'énergie chimique en poussée ou, ce qui revient au même, en vitesse d'éjection. Ce sera le rapport de l'énergie cinétique des gaz de la combustion,

sortant de la tuyère, à l'énergie chimique contenue dans le combustible consommé.

Le facteur essentiel du rendement thermique est la pression dans la chambre de combustion, ou plus exactement le rapport de cette pression à la pression ambiante.

Le rendement thermique d'une fusée augmentera donc à mesure qu'elle s'élèvera en altitude et que la pression ambiante diminuera.

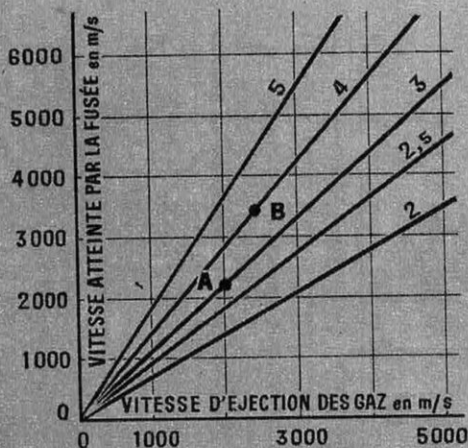
C'est ce qui explique qu'on puisse atteindre un rendement excellent, soit dans les hautes couches de l'atmosphère, soit dans le vide interplanétaire, avec des corps de fusées à parois minces, établis pour de faibles pressions. Telle est, en particulier, la raison de l'excellent rendement des quatre étages de la fusée « Far Side », hissée à 30 000 m par ballon, avec des tuyères aussi bien adaptées à la propulsion aux grandes altitudes que le permettaient les considérations d'encombrement, et dont le moteur fonctionnait dès le départ avec un rapport de détente d'au moins 1 500.

Consommation et impulsion spécifiques

Le rendement d'un moteur ordinaire est le rapport de l'énergie mécanique fournie sur l'arbre à l'énergie chimique apportée par le combustible. Le rendement thermique de la fusée ne compare pas, comme celui-ci, à l'énergie chimique du combustible une énergie mécanique directement utilisable. La poussée que fournit la fusée ne produit en effet du travail que dans la mesure où celle-ci se déplace; par exemple, elle n'en produit aucun si elle reste au repos. Il

← **Le rendement propulsif** dépend du rapport entre la vitesse de la fusée et la vitesse des gaz éjectés. Cette courbe montre qu'il passe par un maximum quand ces deux vitesses sont égales, les gaz restant alors stationnaires. Les croquis accompagnant la courbe supposent une vitesse d'éjection des gaz égale à 2 500 m/s au moment où ils sortent de la tuyère.

Vitesse finale d'un étage de fusée, en fonction de la vitesse d'éjection et du rapport de masse. Pour une vitesse d'éjection de 2 000 m/s et un rapport de masse de 3, elle ne dépassait guère 2 200 m/s en 1945 (point A). Aujourd'hui, avec des vitesses d'éjection de 2 500 m/s et des rapports de masse de l'ordre de 4, cette vitesse finale atteint 3 500 m/s (B).



est nécessaire de rapporter la consommation non pas à un travail, comme celui qu'effectue un « cheval » pendant une heure, mais à une force maintenue pendant une certaine durée, la seconde ou l'heure. C'est pour la même raison qu'en technique du turboréacteur on évalue la consommation en kg de combustible par kg de poussée et par heure, tandis que la consommation du moteur à explosions s'évalue en kg de combustible par cheval-heure.

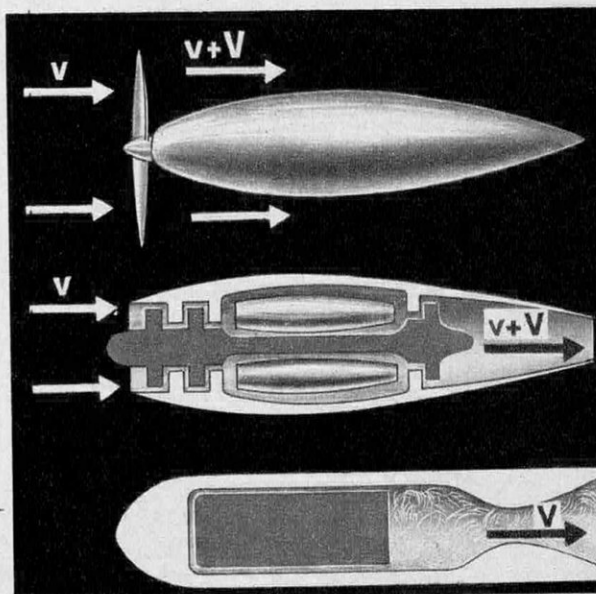
On choisit généralement pour la fusée, dont la consommation est élevée, la seconde pour la mesure des temps. La « consommation spécifique » est alors le poids de combustible nécessaire à l'entretien d'une poussée de 1 kg pendant 1 s. Par exemple, le moteur-fusée 6 000 C-4 de la Reaction Motors, qui est monté sur le Bell X-1, a une consommation spécifique de 0,0052 kg/kg/s.

On caractérise même le plus souvent la fusée par l'inverse de cette consommation, l'« impulsion spécifique », une « impulsion » étant le produit d'une force par un temps. L'impulsion spécifique sera donc le nombre de secondes pendant lequel une consommation de combustible de 1 kg exercera une poussée de 1 kg. Elle s'évalue donc en secondes. Sur les moteurs-fusées réalisés jusqu'ici, elle est de l'ordre de 200 s, de 192 s exactement pour le moteur-fusée du Bell X-1.

Le rendement propulsif

Le rendement propulsif définit la part de l'énergie cinétique contenue dans les gaz éjectés qui est effectivement employée à la propulsion. On en obtient l'expression en faisant le rapport du travail utile de propulsion, produit de la poussée par la vitesse, à ce travail majoré de l'énergie cinétique emportée par les gaz de la combustion et perdue.

Le rendement propulsif est évidemment nul pour une fusée qui demeure au repos. Il croît ensuite avec la vitesse de la fusée. Il passe par un maximum égal à l'unité lorsque la vitesse d'éjection est égale à la vitesse de



→ **La force propulsive, dans les trois cas figurés ci-contre, est toujours égale au produit de la masse de gaz intéressée par seconde par la vitesse relative (ou le supplément de vitesse) qui lui est communiquée.**

la fusée, puisque les gaz sont à ce moment abandonnés sur place sans vitesse. Il diminue ensuite jusqu'à devenir nul pour une vitesse infinie de la fusée, l'énergie cinétique perdue dans les gaz de la combustion tenant cette fois à une vitesse dirigée vers l'avant.

On vérifie l'insignifiance de ce rendement aux vitesses d'avion usuelles et à plus forte raison aux vitesses de décollage où l'on applique la fusée à poudre ou à liquides. Il commence à devenir acceptable, de l'ordre de 70 %, aux vitesses de 3 000 km/h qu'atteignent aujourd'hui les avions fusées. Il est excellent pour la vitesse finale des V-2, qui approche de la vitesse d'éjection des gaz. Malgré la diminution ultérieure aux très grandes vitesses, qui sont celles des satellites artificiels et des engins intercontinentaux et qui atteignent deux ou trois fois la vitesse d'échappement des fusées alimentées avec les plus puissants des mélanges, le rendement propulsif reste dans l'ensemble satisfaisant.

Le rapport de masse

Le calcul de la vitesse finale prise par une fusée, dans le champ de la pesanteur, en tenant compte de la traversée de l'atmosphère, est assurément compliqué. Mais on peut aisément mettre en évidence le rôle essentiel du « rapport de masse », c'est-à-dire du rapport entre la masse initiale de la fusée et sa masse finale après consommation du combustible, si l'on accepte de négliger la résistance de l'air.

Si l'on suppose la vitesse de combustion constante, la poussée de la fusée est sensiblement constante, à l'effet près de la contre-pression à l'échappement qui tombe très vite. Il semblerait donc que le calcul de la vitesse finale d'une fusée partant du repos soit un problème simple, tout à fait semblable à celui d'un corps partant du repos auquel on appliquerait une force constante comme la pesanteur. Mais il y a une différence essentielle d'un cas à l'autre. Soumis à cette force constante qu'est son poids, le corps en chute libre conserve une masse constante. Soumise à une poussée constante par l'éjection à grande vitesse des gaz provenant du combustible qu'elle emporte, la fusée perd de sa masse à mesure que la combustion progresse; le mouvement est celui d'une masse régulièrement décroissante avec le temps, soumise à une force constante. Le calcul donne la vitesse finale sous une forme très simple. Elle est égale au produit de la vitesse d'éjection par le « logarithme

LA FUSÉE A ÉTAGES

Le croquis ci-contre montre pourquoi une fusée à 3 étages, de même poids de charpente, de même charge utile, et brûlant le même combustible avec la même vitesse d'éjection qu'une fusée à un seul étage, atteint une vitesse finale de 8 250 m/s au lieu de 4 400 m/s. La vitesse d'éjection des gaz de combustion est supposée la même, 2 500 m/s, pour tous les étages, ainsi que le rapport de masse de 3.

népérien» (1) du rapport des masses au début et en fin de combustion. Par exemple, une fusée qui contiendrait les deux-tiers de son poids total en combustible (rapport de masse 3) et qui éjecterait ses gaz à la vitesse de 2 000 m/s atteindrait, en fin de combustion, une vitesse de $2\,000 \times 2,3 \times \log 3$, soit 2 200 m/s. Ce sont là des chiffres voisins de ceux de la V-2.

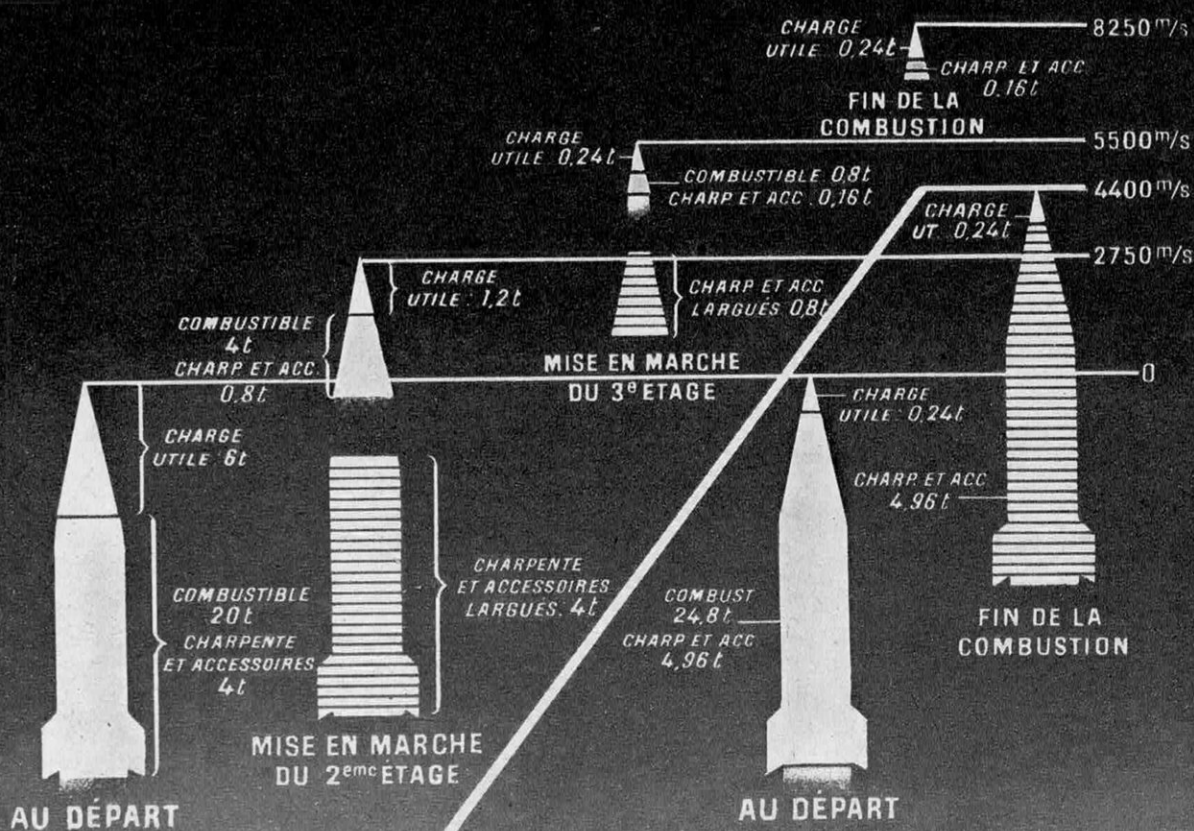
Pour atteindre les énormes vitesses indispensables à l'astronautique, quel effet peut-on attendre des progrès de chacun des deux facteurs ?

Augmenter la vitesse d'éjection est l'idée la plus simple. Malheureusement, la vitesse finale est seulement proportionnelle à cette vitesse d'éjection, limitée aussi bien par l'énergie chimique du combustible que par la température acceptable pour les parois de la chambre et la tuyère. Avec les rapports de masse réalisés jusqu'ici, il n'est pas question d'atteindre la vitesse de libération, ni même la vitesse d'un satellite artificiel sur son orbite; il faudrait, pour cette dernière, une vitesse d'éjection d'au moins 7 000 m/s.

Le relèvement du rapport de masse offre des perspectives plus séduisantes, car il croît très vite à mesure qu'on allège le poids mort et qu'on accepte, pour une même charge utile, un tonnage initial plus élevé. Il est certain que l'on pourra largement dépasser le rapport de masse des V-2, et atteindre par exemple le rapport de masse 5 (80 % de combustible). Mais le rapport de masse 10 (90 % de combustible) apparaît comme l'extrême limite.

Faut-il donc conclure que le premier stade de l'astronautique lui-même, sous la forme du satellite terrestre qui exige plus de 7 000 m/s pour la seule vitesse orbitale, est inaccessible, puisque la fusée de 3 000 m/s de vitesse d'éjection et de rapport de masse 10 n'atteindrait encore que 6 900 m/s ?

(1) Le logarithme népérien est égal au logarithme décimal, celui des tables, multiplié par 2,3.



La fusée à étages

La fusée à étages, combinaison de fusées de grandeur décroissante abandonnées successivement après consommation de leur combustible, vise précisément à dépasser cette limite que la mécanique impose à la fusée simple.

Supposons une fusée emportant les deux tiers de son poids en combustible et le cinquième en charge utile, ce qui est déjà un progrès considérable sur la V-2 qui, pour la même proportion de combustible, n'emportait guère que le dixième de son poids en charge utile. Par exemple, une fusée de 30 t au départ emporterait 20 t de combustible pour conduire à destination une charge utile de 6 t.

Faisons de cette charge utile de 6 t une deuxième fusée au même pourcentage de combustible, 4 t, et de charge utile, 1,2 t, puis de cette dernière une troisième fusée contenant 0,8 t de combustible et 0,24 t d'une charge utile finale.

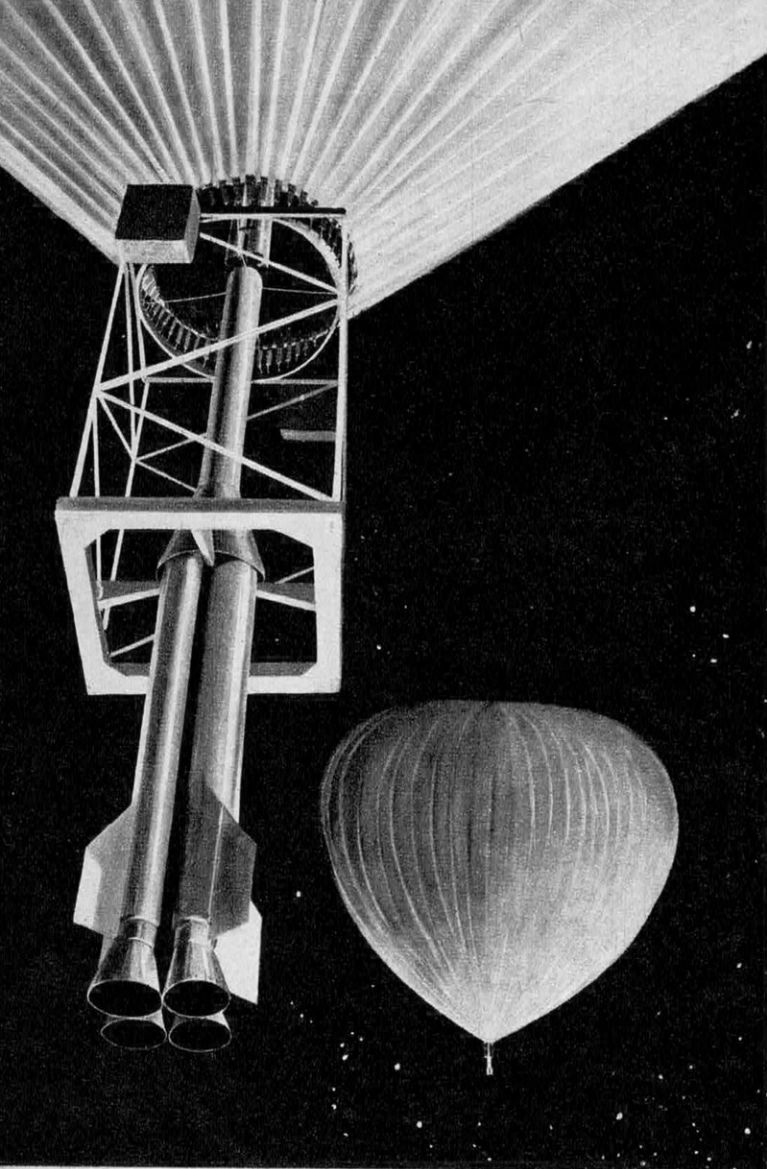
Si les progrès en combustibles et en moteurs-fusées ont en même temps porté à 2 500 m/s la vitesse d'éjection, la formule

qui donne la vitesse finale pour le rapport de masse 3 conduit à 2 750 m/s pour chacun des trois étages. La charge utile de 0,24 t acquerra finalement une vitesse de 8 250 m/s.

Si, partant de la même fusée de 30 t, on avait fait brûler la même quantité totale de combustible de 20 t + 4 t + 0,8 t qu'elle emporte, mais en une seule fois, on n'aurait atteint que la vitesse de 4 400 m/s.

A quoi tient la différence ? Simplement à ce que la fusée à un seul étage doit accélérer jusqu'à la vitesse finale non seulement la charge utile, mais la masse des réservoirs, moteurs-fusées, etc., dont la fusée à plusieurs étages abandonne la plus grande partie, à vitesse moindre, dès qu'ils ont cessé d'être utiles.

Il semble donc qu'on puisse atteindre par le détournement de la fusée à étages des vitesses aussi élevées qu'on le désire, en multipliant le nombre des étages jusqu'au degré où le transport d'une charge utile infime exigera un poids au départ de quelques dizaines ou centaines de milliers de tonnes. Tel est bien le résultat théorique de ce principe; pratiquement, le gain de rendement, pour les



Le lancement de la Far Side

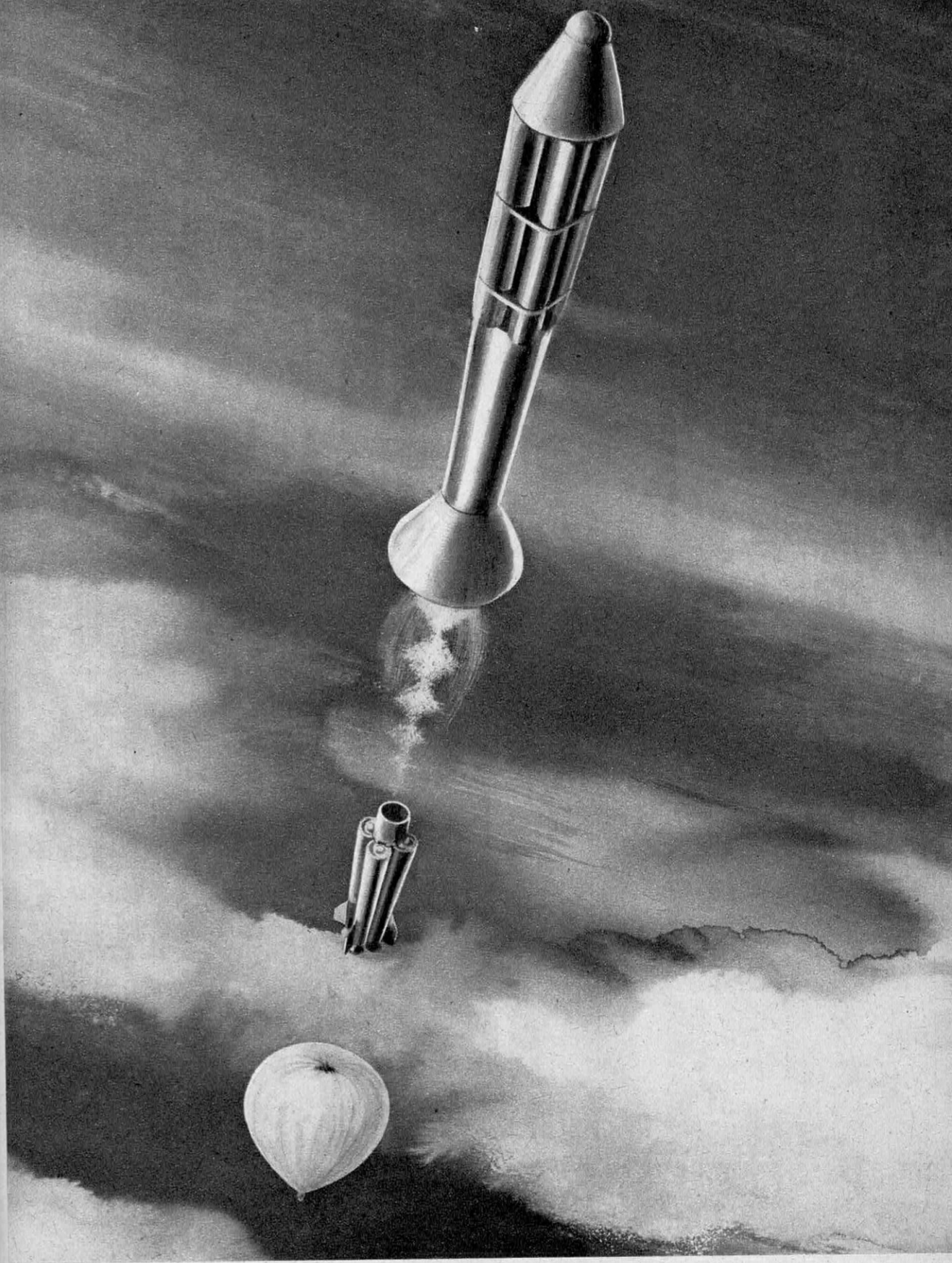
C'est à 30 kilomètres d'altitude que la fusée américaine Far Side est emmenée par son ballon porteur en matière plastique avec tout son dispositif de lancement. Le dessin à gauche montre comment le châssis portant la fusée à quatre étages est fixé au ballon en plastique et celui du bas donne un aperçu des dimensions relatives fusée-ballon lorsque ce dernier a atteint son volume maximum de 105 000 m³ par suite de la faible pression qui règne à l'altitude de 30 km (environ le 1/100 de la pression atmosphérique au sol); le ballon atteint alors un diamètre de 61 mètres. Le dessin de droite montre comment la fusée est lancée suivant l'axe du ballon, le traversant entièrement, puis lâche ses étages successifs, parvenant ainsi à une altitude record de 6 400 km.

Le châssis de lancement porté par le ballon.

vitesses nécessaires aux engins intercontinentaux, aux satellites ou à l'envoi sur la Lune des premiers projectiles, n'est pas intéressant au delà de trois étages. Les deux étages, employés dès 1949 pour le record d'altitude de 402 km, atteint alors avec le lancement à White Sands d'une fusée composée d'une V-2 et d'une Wac-Corporal, suffisent largement pour les engins balistiques de portée « intermédiaire » (2 400 km). Les quatre étages auxquels on a eu recours pour atteindre l'altitude de 6 400 km avec la fusée Far Side s'expliquent davantage par le désir d'utiliser des fusées à poudre existantes que par le besoin réel de quatre étages pour réaliser cette performance.

L'emploi de réservoirs largables est basé sur le même principe que la fusée à étages. Il vise également l'abandon des parties inutiles de l'engin à mesure que le combustible est consommé. En ne larguant que les réservoirs et seulement une partie des appareils-moteurs pour utiliser le reste à la propulsion de la fusée allégée, on peut même théoriquement dépasser le rendement de la fusée à étages. Cependant les complications mécaniques supplémentaires introduites par cette combinaison d'étages et de réservoirs abandonnés successivement ont détourné jusqu'ici de réalisations dans cette voie.

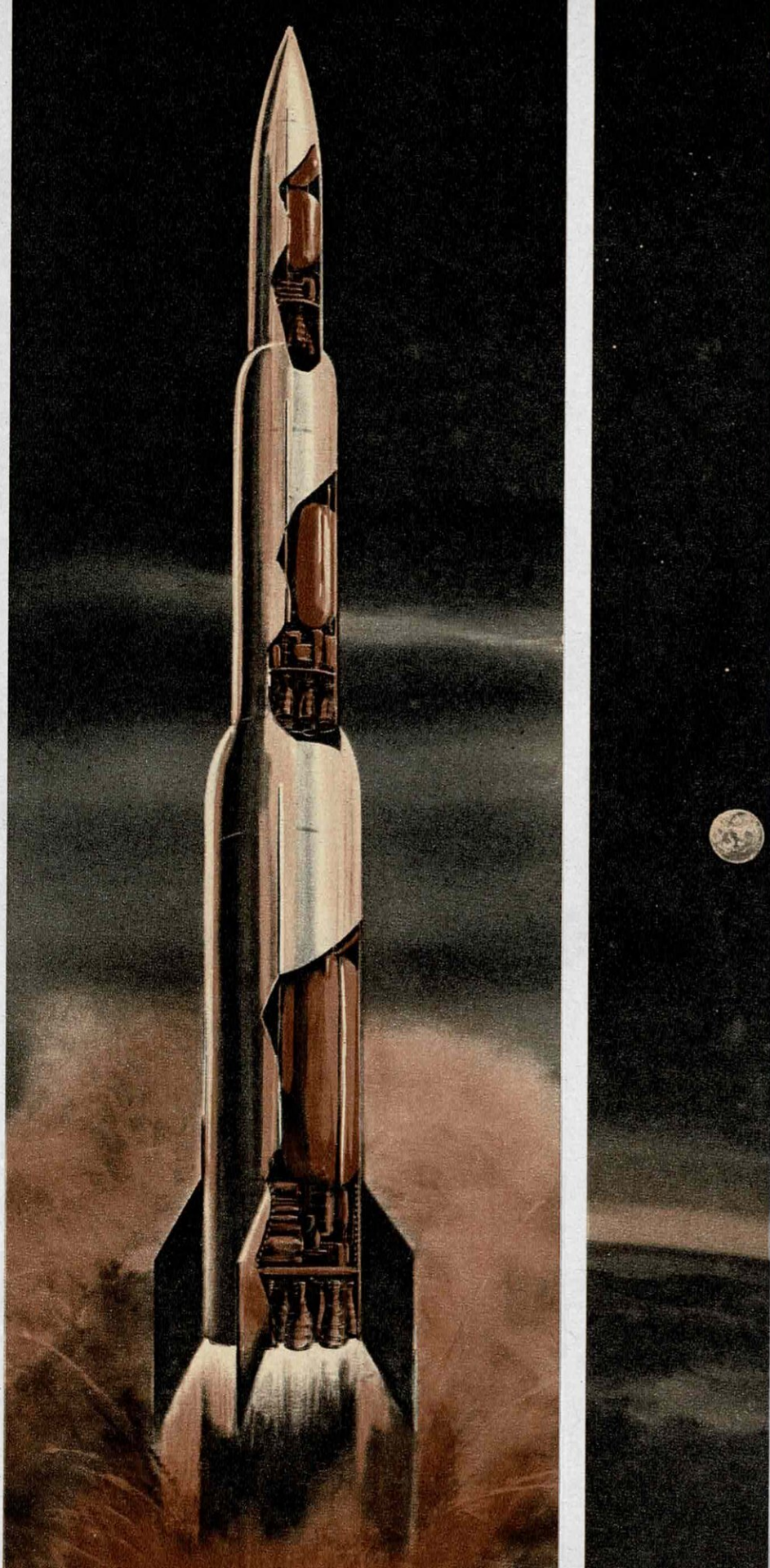
Camille ROUGERON



La « Far Side » abandonne son premier étage après avoir traversé le ballon.

DEUX FUSÉES INTER- PLANÉTAIRES

Ces deux fusées, étudiées par la division Rocketdyne de la North American pour les futurs vols interplanétaires, utilisent des combustibles complètement différents. Celle de gauche est à propergols liquides et chambres de combustion multiples pour chacun des étages. Celle de droite est à poudre, pour ses deux premiers étages, avec des volets intérieurs de guidage.





COMBUSTIBLES POUR FUSÉES

LES combustibles pour fusées se sont limités longtemps aux poudres en usage dans les divers artifices pyrotechniques. La poudre noire donnant lieu à des explosions et accidents mortels, les poudres à base de nitrocellulose et de nitroglycérine employées en artillerie furent adoptées très rapidement avec des résultats bien meilleurs. Mais elles convenaient mal aux moteurs-fusées à grande puissance.

Le gros progrès vint de l'emploi des liquides, proposé dès 1896 par Tsiolkowsky pour la navigation interplanétaire, sous la forme d'une fusée à oxygène et hydrogène liquides. Ce mélange valut longtemps des déboires aux expérimentateurs; ce fut probablement Helmut Walter qui, ayant réussi à intéresser la marine allemande en 1934 à l'eau oxygénée concentrée pour la propulsion des torpilles et des sous-marins, put mettre au point, avec ce puissant concours, les premiers moteurs-fusées de fonctionnement correct. Le premier vol sur

QUELQUES POUDRES MODERNES POUR FUSÉES					
	Balstite	Cordite	Poudre japonaise (Baka)	Wesag R-41 (allemande)	Giesling Pulver (allemande)
Nitrocellulose	60	77,2	59,9	61,5	29,0
Nitroglycérine	40	19,8	26,9	—	—
Diphénylamine	—	—	—	—	0,5
Sulfate de potasse ...	—	—	2,9	—	—
Alpha-nitronaphtaline	—	—	6,1	—	—
Ethyl-centralite	—	—	2,9	—	—
Dinitrate de diéthylène-glycol	—	—	—	34,0	18,0
Ethyl-phényl-méthane	—	—	—	1,4	—
Diphényl-méthane ...	—	—	—	2,1	—
Trinitrotoluène	—	—	—	—	50,0
Diéthyl-diphényl-urée	—	—	—	—	0,5
Divers (eau, cendres)	—	1,0	1,3	1	—

avions eut lieu en janvier 1937 et, en juin suivant, on tirait les premières fusées. Dès 1935, avec la construction du centre d'essais allemand de Peenemuende, l'armée allemande et ses techniciens, le général Becker, le colonel Dornberger, Wernher von Braun, etc., se consacraient à la mise au point des moteurs-fusées à oxygène liquide et alcool ; leurs études devaient aboutir en 1944 à la mise en service des V-2. Mais d'autres comburants et combustibles, aussi prometteurs pour certaines applications, apparaissaient, si bien qu'il fallut créer tout un vocabulaire pour classer les différents corps, solides ou liquides, les « ergols », dont les réactions peuvent être utilisées dans un moteur-fusée.

Les monergols

La plus simple des fusées, en théorie, ferait appel à un « monergol », cette désignation rappelant que l'énergie de la réaction vient d'un seul produit ou d'un mélange préalable stable de produits contenant à la fois le comburant et le combustible.

Les poudres solides, ou plutôt plastiques, rentrent évidemment dans cette définition.

Mais les poudres solides ont de multiples inconvénients. Leur vitesse de combustion, dont dépend la pression dans la chambre de combustion, dépend très largement de leur température au moment de l'inflammation. Même avec des pains de poudre très gros, la combustion est achevée en quelques secondes. Leur pouvoir calorifique est inférieur à celui des produits liquides, nitroglycérine par exemple, qui entrent dans leur composition. Enfin, il n'est pas possible

de charger le corps de fusée avec une poudre solide comme on le fait avec un liquide contenu dans un récipient léger, où on le reprend avec une pompe ; on y perd en rendement de construction.

Le seul monergol liquide qui ait été utilisé en pratique est l'eau oxygénée, à la concentration de 80 à 85 %. Elle se décompose en vapeur d'eau et oxygène par l'addition d'un catalyseur, solution de permanganate de calcium ou de sodium ; on emploierait de préférence aujourd'hui un catalyseur solide. Les autres produits d'emploi théoriquement possible, nitroglycérine, dinitrate de diéthylène-glycol, nitrate de méthyle, sont trop sensibles à l'explosion pour être utilisables à l'état pur. Seul le nitrométhane, avec addition d'un catalyseur pour régulariser la combustion, semble pouvoir donner satisfaction.

Propergols et hypergols

Les « propergols » (ce sont les « bipropellants » anglais et américains par opposition aux précédents, les « monopropellants ») demandent l'énergie de la réaction au mélange de deux « ergols » liquides, un comburant et un combustible ; ils exigent un dispositif d'allumage particulier. Les « hypergols » font appel à une réaction de même nature, mais l'inflammation se produit dès qu'il y a mélange ; c'est le cas en particulier d'un certain nombre de combinaisons où le comburant est l'acide nitrique.

L'organisation et le fonctionnement de la fusée dépendent principalement des comburants, dont trois ont été spécialement étudiés et appliqués : l'eau oxygénée, l'oxygène liquide, l'acide nitrique.

L'eau oxygénée

L'eau oxygénée, indépendamment de ses applications comme monergol, a été étudiée

QUELQUES MÉLANGES A TRÈS GRAND POUVOIR CALORIFIQUE			
Comburant	Combustible	Rapport : Comburant Combustible	Impulsion spécifique
Oxygène liquide à 30 % d'ozone	Kérosène	2,3	253 s
Ozone liquide	Kérosène	1,9	266 s
Ozone liquide	Hydrogène	3,2	369 s
Fluor.....	Kérosène	2,6	265 s
Fluor.....	Diborane	5,0	291 s
Fluor.....	Hydrogène	4,5	352 s

comme comburant dès 1934, et appliquée dès 1936. Le combustible était l'hydrate d'hydrazine, avec lequel on obtint le premier hypergol, puis le mélange méthanol-hydrate d'hydrazine qui a l'avantage d'un pouvoir calorifique plus élevé.

Bien qu'on ait considéré longtemps les produits à base d'eau oxygénée comme relativement sûrs, les inconvénients en sont multiples. La première difficulté est de l'obtenir à forte concentration (85 % environ) puis de la conserver et de la transporter. L'eau oxygénée attaque alors les réservoirs ; la dissociation suit la corrosion ; le dégagement de chaleur provoque l'explosion. On y pare avec des stabilisants (phosphore ou oxyquinoléine), des matériaux inoxydables (acier au chrome-nickel) ou très purs (aluminium), recouverts au besoin de revêtements protecteurs (produits cireux, chlorure de polyvinyle).

L'oxygène liquide

L'oxygène liquide présente l'avantage d'une production aisée, avec une très faible dépense d'énergie, à bas prix, à un degré de pureté aussi grand qu'on peut le désirer.

Ses inconvénients proviennent de difficultés d'isolation (il bout à -183°C), ce qui oblige à le conserver et à le transporter en récipients ouverts. Le choix des matériaux pour réservoirs et tuyautages est limité à ceux qui ne sont pas cassants à très basse température. Au surplus, certains métaux peuvent brûler dans l'oxygène. Le cuivre et certains bronzes conviennent assez bien.

Il ne faut pas d'ailleurs s'exagérer les difficultés de conservation et de transport. La perte par évaporation est une question de durée et de tonnage. Pour quelques minutes et quelques tonnes, elle reste insignifiante, même en récipients non isolés. Avec une isolation soignée, on peut stocker de gros tonnages en réservoirs dont le contenu mettrait plusieurs mois à s'évaporer.

Depuis son emploi sur les V-2, l'oxygène liquide a conservé la première place comme comburant des fusées de gros tonnage ; il sert notamment à alimenter les premiers étages de tous les engins à portée intermédiaire et intercontinentale américains (« Jupiter » et « Thor », « Atlas » et « Titan ») à l'exception du « Polaris », à poudre, de la marine ; c'est également à lui qu'on a recours pour le premier étage du « Vanguard ». On admet que l'U.R.S.S. a fait choix du même produit pour des matériels similaires.

L'acide nitrique

L'acide nitrique, introduit pour la première fois dans la technique des fusées par Zborovski, a fait l'objet de nombreuses recherches en Allemagne. Il est plus coûteux que l'oxygène extrait de l'air, mais ses possibilités de production sont de loin supérieures à celles de l'eau oxygénée.

Le stockage et le transport sont relativement aisés avec un produit à haute concentration. L'acide concentré rend « passifs » les métaux facilement oxydables tels que le fer, et ne les attaque donc pas. Les aciers inoxydables au chrome-nickel, les matériaux céramiques et la plupart des verres ne sont pas attaqués, même par l'acide étendu.

Son emploi ne s'est pas développé autant que certains l'espéraient ; l'aviation française, notamment, avait misé entièrement sur l'acide nitrique après 1945. Il est le comburant du « Nike » sol-air américain et du deuxième étage du « Vanguard ».

Le fluor

Le fluor, le plus puissant des oxydants connus, fait depuis plusieurs années l'objet de recherches pour son emploi comme comburant dans les moteurs-fusées ; c'est principalement sur lui que l'on compte pour atteindre les impulsions spécifiques de l'ordre de 300 s.

Mais le fluor est loin d'être un comburant de tout repos. Il attaque pratiquement toutes les substances, organiques ou inorganiques, à l'exception des gaz inertes et de quelques composés à très haute teneur de fluor (dont certains plastiques) ; il chasse notamment l'oxygène de l'eau. Cependant, avec de nombreux métaux, il se forme une pellicule de fluorure qui protège la masse (cuivre, aluminium, acier inoxydable, métal Monel...). Il est très toxique.

Les combustibles

Les combustibles réagissant avec des comburants aussi actifs que l'eau oxygénée concentrée, l'oxygène liquide et l'acide nitrique ne manquent évidemment pas. Mais les exigences vis-à-vis des combustibles sont nombreuses.

On demande au combustible un pouvoir calorifique élevé et une forte densité, un très faible délai d'allumage, une bonne stabilité pendant un long stockage, une attaque faible des réservoirs, la résistance au froid jusqu'à -50°C , une faible viscosité à basse température et en particulier une variation

de viscosité parallèle à celle du comburant.

Les combustibles les plus employés sont :

— avec l'eau oxygénée : l'hydrate d'hydrazine et ses additions, telles que le méthanol ;

— avec l'oxygène liquide : l'alcool éthylique, les hydrocarbures, l'hydrazine, l'ammoniaque liquide ;

— avec l'acide nitrique : l'aniline et ses dérivés, le furfurol, les visols (éthers vinyliques).

Le pouvoir calorifique

La première qualité exigée des combustibles et comburants pour fusée est un pouvoir calorifique élevé.

De ce point de vue, l'oxygène liquide l'emporte largement sur l'acide nitrique et surtout sur l'eau oxygénée, puisque le gasoil brûlé dans le premier donne 2 150 calories par kg de mélange, alors qu'il n'en donne que 1 375 dans le deuxième et 1 150 dans le dernier. On a cherché à faire mieux encore qu'avec l'oxygène. L'ozone, sa forme triatomique (O_3) qui se décompose en oxygène avec fort dégagement de chaleur, permettrait théoriquement de relever les vitesses d'éjection de près de 10 % ; il est malheureusement très instable et ne peut être utilisé sous forme liquide qu'en mélange avec l'oxygène.

La même recherche a été faite du côté des combustibles, et il est certain que l'alcool ordinaire (éthanol) brûlant dans l'oxygène en dégageant seulement 2 080 calories par kilogramme de mélange est inférieur à l'essence d'aviation (environ 2 365 cal/kg), à l'acétylène (2 880 cal/kg) et surtout à l'hydrogène (3 210 cal/kg).

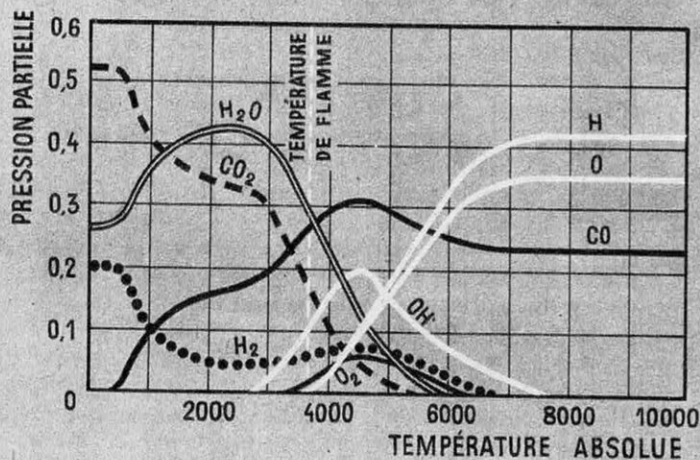
DIVERS SYSTÈMES D'ALIMENTATION pour fusées à combustibles liquides. En A, la pression nécessaire est fournie par l'évaporation du comburant (oxygène). En B, on utilise du gaz sous pression (air ou azote) ; en C, une charge de poudre ; en D, la réaction de deux liquides dans une chambre auxiliaire ; en E, combustible et comburant sont extraits des réservoirs par pompes entraînées par une turbine.

Là encore, comme pour les carburants où l'on étudie le remplacement de l'oxygène par le fluor, on a cherché si d'autres combustibles dégageant plus de chaleur que les combinaisons classiques de carbone et d'hydrogène ne seraient pas plus avantageuses. La combustion du magnésium dans l'oxygène (3 615 cal/kg) ou du calcium dans le fluor (3 700 cal/kg) l'emportent en pouvoir calorifique sur celle de l'hydrogène dans l'oxygène.

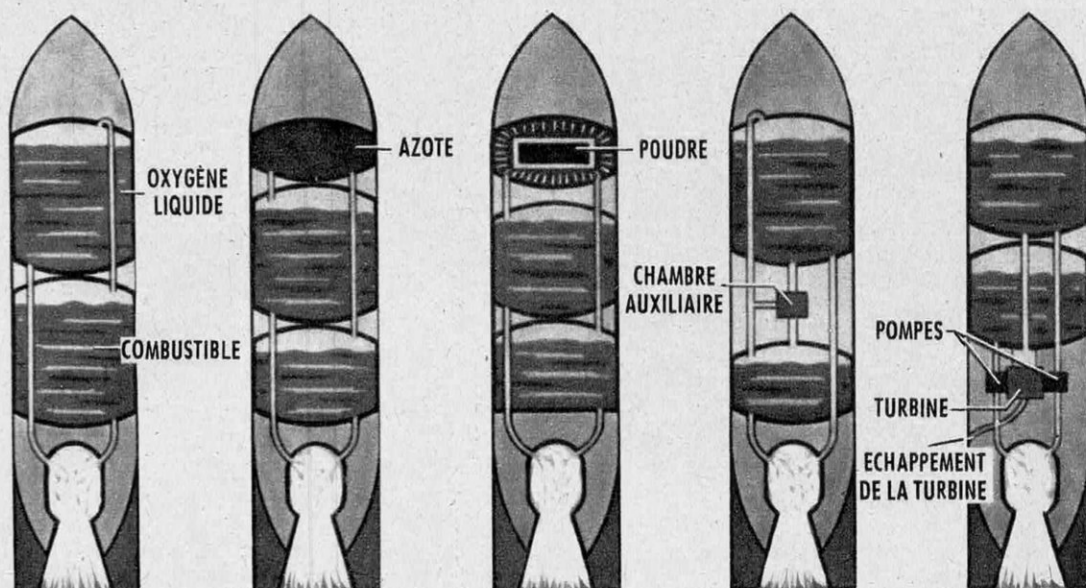
Les combinaisons les plus intéressantes et les plus proches de l'emploi industriel semblent être les dérivés du bore. Le stade expérimental qui a commencé en 1952 est dépassé. La marine américaine fait construire une usine de 38 millions de dollars pour leur production à Muskogee, dans l'Oklahoma, une autre de 36 millions de dollars pour Olin-Mathieson.

Le bore forme avec l'hydrogène des combinaisons voisines des hydrocarbures, les hydrures de bore ou « boranes », dont la combustion dégage jusqu'à 16 000 calories au kilogramme, au lieu des 10 300 à 10 500 calories des combustibles tels que l'essence et le gas-oil.

L'étude récente a porté sur trois d'entre eux, le diborane, le pentaborane et le déca-borane, qui correspondent à peu près à des



LA COMPOSITION DES GAZ de la combustion pétrole-oxygène est obtenue, pour chaque température, en lisant, sur la verticale représentant cette température, les diverses pressions partielles des gaz rencontrés. On constate que la combustion, qui ne donne que de l'eau et du gaz carbonique lorsqu'elle est complète, est de plus en plus incomplète quand la température s'élève.



produits tels que le méthane du grisou, l'essence ordinaire et la naphthaline. Le premier bout à -92°C et explose spontanément à l'air en présence de traces d'eau. Le pentaborane, qui bout à 48°C et qui est assez stable en mélange avec l'air, serait préférable, du moins comme combustible d'aviation ; mais sa densité de 0,61, plus faible encore que celle des hydrocarbures les plus légers, gêne son emploi dans les fusées ; il est probable que le décaborane malgré ses sujétions (point de fusion de 100°C) et son pouvoir calorifique moindre, serait préférable en raison de sa densité voisine de celle des hydrocarbures lourds.

Le poids moléculaire

D'autres facteurs que le pouvoir calorifique interviennent dans le rendement de la propulsion par fusée, qui éliminent beaucoup de combinaisons séduisantes, depuis la combustion de l'hydrogène dans l'oxygène proposée par Tsiolkowsky, jusqu'à celle du calcium dans le fluor. Pour celles dont cette dernière est le type, c'est d'abord une question de poids moléculaire. On ne cherche pas, en effet, la température pour elle-même — elle ne vaut guère que des difficultés d'exécution — mais pour la vitesse qu'elle permet d'imprimer aux gaz de la combustion ; telle est la raison principale qui justifie la comparaison des propergols d'après leur impulsion spécifique, où intervient cette vitesse, et non d'après leur pouvoir calorifique.

La thermodynamique donne cette vitesse

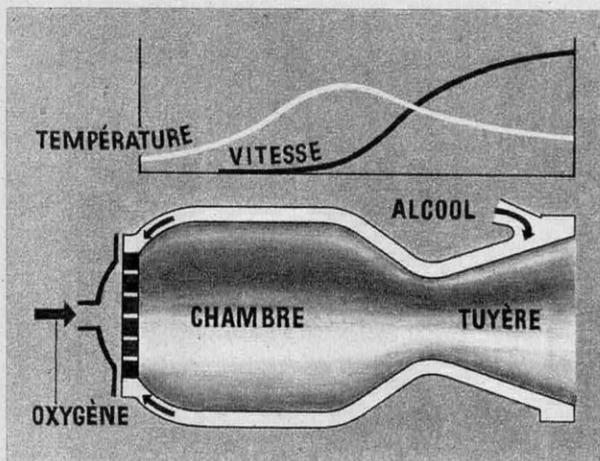
d'éjection par une formule où le poids moléculaire des gaz de la combustion intervient par l'inverse de sa racine carrée. Les gaz les plus légers seront donc les plus avantageux.

C'est une nouvelle raison importante de supériorité théorique de l'hydrogène et des corps qui en contiennent (ammoniaque, eau oxygénée...) sur les combinaisons à plus fort pouvoir calorifique qui donnent naissance à des produits de combustion de poids moléculaire élevé. En particulier, les monergols et propergols où intervient l'eau oxygénée retrouvent de ce point de vue, malgré leur pouvoir calorifique plus faible, un certain avantage tenant à la proportion élevée de vapeur d'eau éjectée en place de gaz lourds comme le gaz carbonique.

Telle est également l'explication de l'intérêt particulier porté à l'hydrogène, même et surtout s'il n'entre pas en combinaison. C'est la base de la proposition de Langmuir sur l'hydrogène atomique, où l'on séparerait l'hydrogène moléculaire en deux atomes à l'aide d'énergie électrique, et où la recombinaison fortement exothermique sous forme moléculaire permettrait des vitesses d'éjection de 15 000 à 20 000 m/s. C'est également le principe d'utilisation de l'énergie nucléaire où l'on chaufferait de l'hydrogène ordinaire (moléculaire) à l'aide d'une pile.

La densité

Malheureusement, en dehors des difficultés inhérentes à ces dernières réalisations, l'hydrogène, même utilisé comme combustible, convient très mal pour la propulsion



← **LES CONTRAINTES THERMIQUES** atteignent leur maximum dans le col de la tuyère. La température y est en effet maximum alors que les gaz y acquièrent une vitesse supersonique qui s'accroît encore à travers la partie divergente de la tuyère.

des fusées en raison de sa faible densité à l'état liquide.

Le pouvoir calorifique ou même la vitesse d'éjection n'intéressent le constructeur de fusées que dans la mesure où ils permettent d'atteindre une vitesse finale plus élevée. Or si l'on emploie des comburants et combustibles légers, le « rapport de masse » de la fusée, c'est-à-dire le rapport entre la masse initiale de la fusée et sa masse finale quand toute la combustion est achevée, rapport dont on connaît le rôle essentiel, se rapproche de l'unité au détriment de la vitesse finale.

Mais ne peut-on pas alléger la charpente et la mécanique de la fusée lorsqu'elle emporte des liquides plus légers ? C'est bien difficile. Les efforts aérodynamiques restant les mêmes, les réservoirs seront faits en tôles et profilés identiques ; le système d'alimentation, en poids mort comme en consommation, dépend du volume qu'il devra débiter, mais non de la densité des produits qui le traversent ; la chambre de combustion prête à la même remarque. Finalement, le poids à vide dépend, en première approximation, du volume de l'engin et non de la densité des liquides dont on le remplit. C'est dire que l'hydrogène liquide de densité 0,07 (si l'on supposait résolus tous les difficiles problèmes de son transport et de son emploi), n'a aucune chance vis-à-vis des combustibles plus communs, de densité dix ou quinze fois plus élevée.

L'alimentation

Des premières fusées à oxygène liquide jusqu'aux V-2, l'alimentation de la chambre de combustion, en combustible et en comburant, a fait une série de progrès qui l'ont

amenée au stade actuel dont il paraît difficile de dépasser le rendement.

Pour alimenter la chambre à la pression élevée indispensable à son rendement, l'idée la plus simple est de faire agir cette pression dans les réservoirs mêmes qui contiennent comburant et combustible. Si le premier est de l'oxygène liquide, on peut demander à sa vaporisation naturelle d'établir cette pression. Cette disposition ne se prête malheureusement guère à une alimentation régulière, puisqu'elle dépend de la température initiale et du réchauffement du réservoir à oxygène en cours de fonctionnement. Aussi ajoute-t-on parfois un troisième récipient contenant de l'air (ou de l'azote) sous pression qu'on envoie dans les deux premiers. Une disposition plus légère consiste à produire du gaz sous pression par la combustion d'une poudre.

Mais sur les fusées à liquides de fort tonnage, le dispositif des pompes de la V-2 s'impose. Il permet en effet de loger comburant et combustible dans des réservoirs de construction légère, d'où on les reprend par des pompes à haute pression pour leur envoi dans la chambre de combustion ; l'économie sur le poids des réservoirs paye largement le supplément de poids dû à l'installation des pompes. La commande de celles-ci est généralement assurée par des turbines à vapeur, obtenue par la décompo-

DEUX DES PROPULSEURS DU « VANGUARD »

Les deux premiers étages schématisés ci-contre sont propulsés par des mélanges liquides ; le troisième est une fusée à poudre. Dans le premier, le combustible et le comburant, kérosène et oxygène liquide, sont envoyés dans la chambre de combustion par des pompes actionnées par une turbine à vapeur, vapeur qui provient d'eau oxygénée décomposée en passant dans une chambre de catalyse contenant de l'argent. Dans le second, le combustible, du diméthylhydrazine dissymétrique, et le comburant, de l'acide nitrique fumant, sont chassés de leurs réservoirs par de l'hélium sous pression, parvenant ainsi à la chambre de combustion où, pulvérisés, ils réagissent spontanément.

sition d'eau oxygénée (V-2). La reprise, au moyen de pompes, des propergols logés en réservoirs légers est aujourd'hui la solution employée aussi bien pour les avions à moteurs fusées que pour les gros engins (« Thor », « Jupiter », « Atlas », « Titan »...) et les véhicules lance-satellites (« Vanguard »).

Chambres de combustion et tuyères

La chambre de combustion comme la tuyère convergente-divergente où les gaz de la combustion prennent leur vitesse, doivent résister à la fois à la pression et à la température. Des deux, les contraintes thermiques l'emportent sur les contraintes mécaniques. La figure page 90 indique l'évolution de la température des gaz, qui atteint son maximum à l'extrémité arrière de la chambre de combustion et dans le conver-

gent de la tuyère. Mais la température de la paroi dépend au moins autant de la vitesse des gaz, si bien que la difficulté se fait surtout sentir au voisinage du col de la tuyère : les parois, léchées par des gaz encore très chauds à grande vitesse, s'échaufferaient rapidement et seraient soumises à une érosion intense si l'on n'y portait remède.

L'idée la plus simple est de donner aux parois à la fois la conductibilité et la masse nécessaires pour l'absorption de la chaleur transmise. Ce principe est dit quelquefois de « l'éponge de chaleur ».

Dès que la puissance et la durée de fonctionnement augmentèrent, on fit appel sur plusieurs fusées allemandes à des parois métalliques minces entourées d'eau.

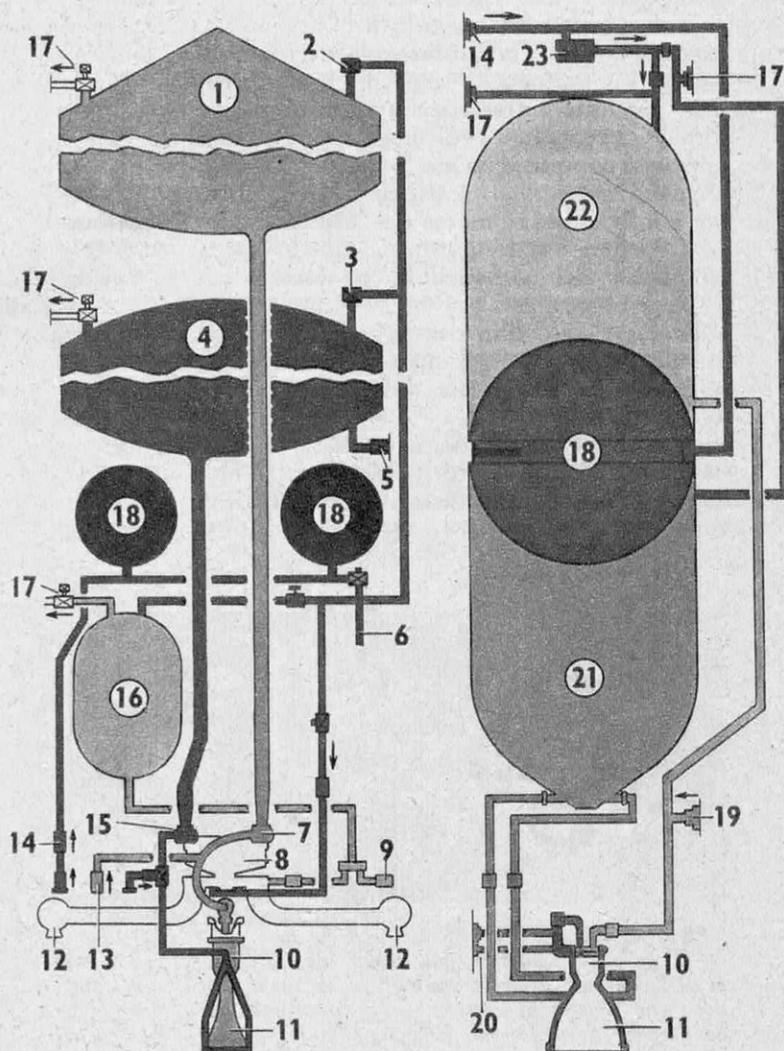
Les premières fusées de Goddard demandaient la résistance thermique à des corps réfractaires dont certains, le graphite

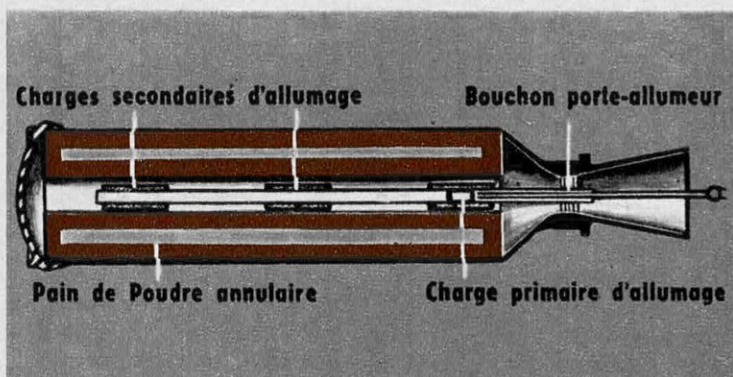
1^{ER} ÉTAGE

- 1 - Oxygène liquide
- 2 - Régulateur de débit d'oxygène
- 3 - Régulateur de débit de kérosène
- 4 - Kérosène
- 5 - Remplissage de kérosène
- 6 - Vers les commandes du moteur
- 7 - Pompe à oxygène liquide
- 8 - Turbine
- 9 - Remplissage d'eau oxygénée
- 10 - Chambres de combustion
- 11 - Tuyères d'éjection
- 12 - Échappement de la turbine
- 13 - Remplissage d'oxygène liquide
- 14 - Remplissage d'hélium
- 15 - Pompe à kérosène
- 16 - Eau oxygénée
- 17 - Soupapes de sûreté
- 18 - Hélium

2^E ÉTAGE

- 19 - Remplissage de combustible
- 20 - Remplissage d'acide nitrique
- 21 - Acide nitrique fumant
- 22 - Combustible (Diméthylhydrazine dissymétrique)
- 23 - Régulateur





CETTE COUPE D'UNE FUSÉE à poudre SEPR montre l'importance et la complexité du dispositif d'allumage. Il utilise la poudre noire qui donne des noyaux incandescents solides. On la loge dans des corps en plastique où la pression monte sans que leur explosion endommage le pain de poudre propulsive. Il faut qu'une partie de la charge se trouve près du fond, sinon les noyaux incandescents s'échapperaient avant de l'enflammer.

par exemple, étaient encore employés sur les volets d'orientation des V-2. L'inconvénient des produits réfractaires résistant théoriquement à des températures qui peuvent atteindre plus de 3 000 °C, est leur sensibilité au « choc thermique » qui désagrége une masse peu conductrice chauffée rapidement.

Une variante intéressante de cette solution est aujourd'hui l'emploi des plastiques, dont certains combinent la résistance à la chaleur des produits réfractaires à des caractéristiques mécaniques voisines de celles des métaux, compte tenu de la densité ; on est arrivé à réaliser en plastique des chambres de combustion et même des tuyères.

La protection des parois par une injection annulaire de combustible en excès fut expérimentée dès 1937 en Amérique et en Allemagne. Un film suffisamment froid de combustible vaporisé mais non brûlé recouvre ainsi les parois de la chambre de combustion.

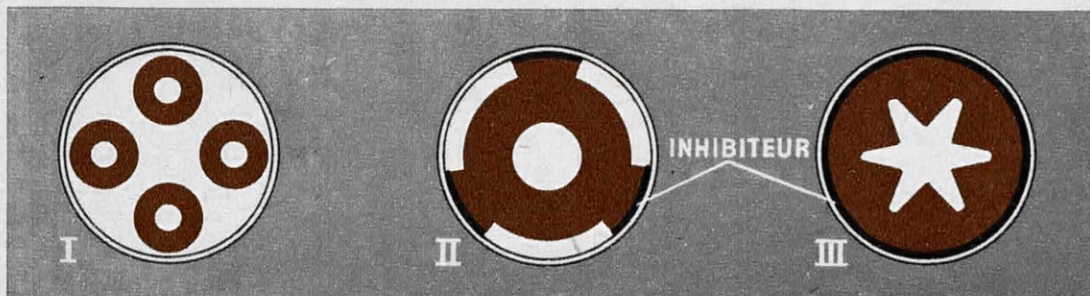
Mais il est difficile de protéger de la sorte les parois de la tuyère léchées par un mélange à grande turbulence. On y parvient en injectant localement l'excès de combus-

tible par plusieurs orifices répartis sur les parois. On peut demander le même résultat à des métaux poreux.

La chambre de combustion et la tuyère de la V-2 ajoutent à l'emploi de ces deux principes celui d'une circulation à contre-courant du combustible dans une double paroi, employée maintenant sur toutes les fusées à grande puissance.

Les fusées à poudre

Bien que l'U.R.S.S. n'ait donné aucune information sur les fusées qui ont lancé les « Spoutnik », ce succès est probablement à mettre à l'actif des « propergols » liquides, puisque tel est le nom donné à ces combustibles et comburants injectés dans la chambre des moteurs-fusées. C'est du moins la solution retenue pour les deux premiers étages du « Vanguard », le futur satellite américain. Le mélange alcool-oxygène liquide de la V-2 y est remplacé, pour le premier étage, par un mélange kérosène-oxygène liquide et, pour le deuxième, par un mélange de diméthylhydrazine et d'acide nitrique.



CES COUPES DE FUSÉES A POUDRE montrent : en I, des pains tubulaires qui, brûlant de l'intérieur et de l'extérieur, assurent une surface de combustion donc une poussée constante ; en II, un chargement de densité supérieure qui exige une presse à filer

puissante ; en III, un chargement en poudre composite coulée avec orifice en étoile donnant une surface de combustion sensiblement constante du début à la fin du fonctionnement, disposition employée sur les grosses fusées à poudre (Honest John, Polaris, etc.).

Mais l'ascension à 6 400 km du « Far Side », dont les quatre étages sont construits par Thiokol et Grand Central Rocket, les deux plus importants fabricants de fusées à poudre des États-Unis, prouve que la fusée à liquides est sérieusement concurrencée.

La position de ces derniers produits est encore forte. Ils n'alimentent pas seulement le moteur principal du plus ancien des engins guidés en service, le premier « Nike » dit « Nike-Ajax », mais encore presque tous les engins balistiques en service (« Corporal »), en construction (« Redstone ») ou en essais (« Jupiter » et « Thor », « Atlas » et « Titan »).

Cependant la poudre n'est plus confinée comme naguère à la propulsion des petites bombes-fusées, des roquettes comme le « Mighty Mouse ». En se limitant au matériel en service, elle est employée sur les plus récents engins air-air, le « Falcon », le « Sparrow », le « Sidewinder » ; sur des engins sol-air comme le « Terrier » de la marine et de l'aviation qui surclasse le « Nike-Ajax » de l'armée ; sur des engins sol-sol de la taille d'un « Honest John », au calibre de 76 cm. Le plus récent succès de la poudre est son adoption par la marine pour la propulsion du « Polaris », un engin de plusieurs dizaines de tonnes à portée intermédiaire (2 400 km) de la classe du « Jupiter » et du « Thor », mais destiné au lancement à partir des navires.

Pourquoi ce retour de faveur après tant de succès des liquides ?

Les poudres « composites »

La solution des difficultés rencontrées avec la poudre a été trouvée, pleinement semble-t-il, au cours des dix premières années d'après-guerre.

Les nouvelles poudres sont encore inférieures aux propergols liquides en impulsion spécifique. Mais la substitution comme comburant du perchlorate d'ammonium au nitrate d'ammonium, les perspectives ouvertes par le perchlorate de lithium, permettent du moins de suivre les progrès parallèles des propergols orientés vers les boranes, le fluor et ses composés.

C'est du côté mise en œuvre que les nouvelles poudres dites « composites » (un combustible et un comburant mélangés par malaxage), par opposition aux poudres « à double base » (mélange de corps comme le coton-poudre et la nitroglycérine contenant chacun, dans leur molécule, comburant et combustible) que le progrès a été le plus

sensible. Le choix s'est orienté sur les produits pouvant être aisément coulés, donc utilisés dans des corps de fusée cylindriques de dimensions quelconques. Sous réserve d'une composition convenable, notamment avec l'emploi de certains caoutchoucs synthétiques comme combustible, l'adhérence de la poudre et du corps empêche l'inflammation de se propager entre eux ; on peut d'ailleurs appliquer sur le corps, avant coulée, un « inhibiteur » qui évite ce risque. On assure ainsi le remplissage à haute densité du corps. Les dispositifs de calage des pains de poudre deviennent alors inutiles. Simultanément, la poudre isole le corps de la chaleur ; il conserve ses caractéristiques mécaniques à froid.

Un autre avantage essentiel des poudres composites est la stabilité de leur combustion à des pressions de 25 à 30 kg/cm², du même ordre que celles qui sont admises pour les propergols liquides. Le corps de fusée devient ainsi presque aussi léger qu'un corps de fusée à propergols liquides, et beaucoup plus léger si l'on fait entrer en compte toute la mécanique indispensable à ce dernier.

Propergols liquides ou solides ?

Du point de vue, essentiel, des performances, le problème du choix entre propergols liquides et solides se pose de la manière suivante. Les premiers permettent d'atteindre une impulsion spécifique supérieure, probablement 250 s contre 225 s dans le présent, peut-être 300 s contre 250 s dans l'avenir. Mais, à même charge utile de l'engin ou du véhicule lance-satellite, les derniers conduisent à un rapport de masse très supérieur. Aussi les défenseurs de l'un et de l'autre type peuvent-ils appuyer leurs préférences sur des raisons en apparence fondées. Bien que la question n'ait pas, à notre connaissance, été présentée sous la forme d'un choix en fonction de la mission imposée, nous croyons qu'il résoudrait le problème. Le bénéfice d'un relèvement du rapport de masse est d'autant plus grand que ce rapport est plus élevé ; la fusée à poudre est donc particulièrement intéressante pour les charges utiles faibles des engins intercontinentaux ou des véhicules lance-satellites, liés aux très grandes vitesses initiales. Au contraire, pour les charges utiles importantes et les portées faibles, le bénéfice de l'impulsion spécifique supérieure des propergols liquides peut l'emporter.

Camille ROUGERON

LES FUSÉES DE L'AVENIR

SI l'astronef doit, faute de matière au milieu de laquelle il se déplace, rejeter vers l'arrière celle qu'il emporte avec lui, ce qui est la définition la plus générale de la propulsion par fusée, l'énergie employée à cette propulsion peut certainement provenir d'une autre source que de la réaction chimique entre un combustible et un comburant. La source d'énergie n'est pas nécessairement la matière propulsive elle-même : la distinction est parfaitement claire dans les modes de propulsion où l'on capterait l'énergie solaire pour éjecter à grande vitesse une matière emportée à bord. Mais l'on doit observer que, même avec une source d'énergie extérieure indéfiniment renouvelée comme celle du Soleil, le rayon d'action de l'astronef est limité par la masse de matière emportée comme « propulsif ».

De nombreux modes de propulsion basés sur ces principes ont été suggérés.

La source d'énergie peut être celle des « radicaux libres », qu'il faut distinguer, ne serait-ce que par sa puissance, des réactions chimiques ordinaires ; elle peut être également atomique, radioactive, thermonucléaire ou même solaire. Le propulsif peut être éjecté sous la forme de matière à l'état ordinaire, ou sous la forme d'ions, d'électrons, de fragments de fission, de neutrons, de protons... et même de photons.

Nous ne passerons pas en revue l'ensemble des suggestions faites sur ce sujet, et laisserons pareillement de côté celles qui sortent entièrement du domaine des fusées,

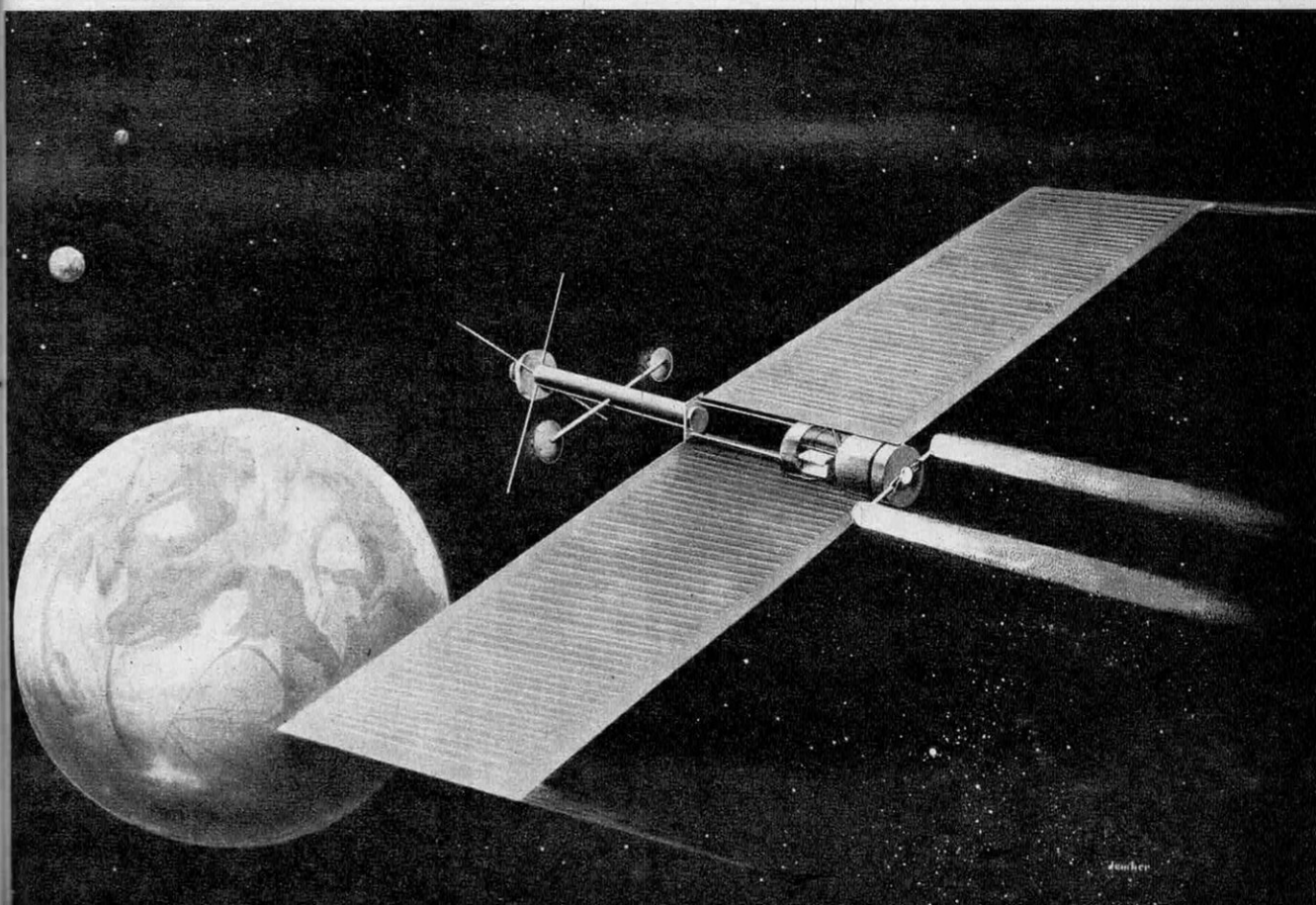
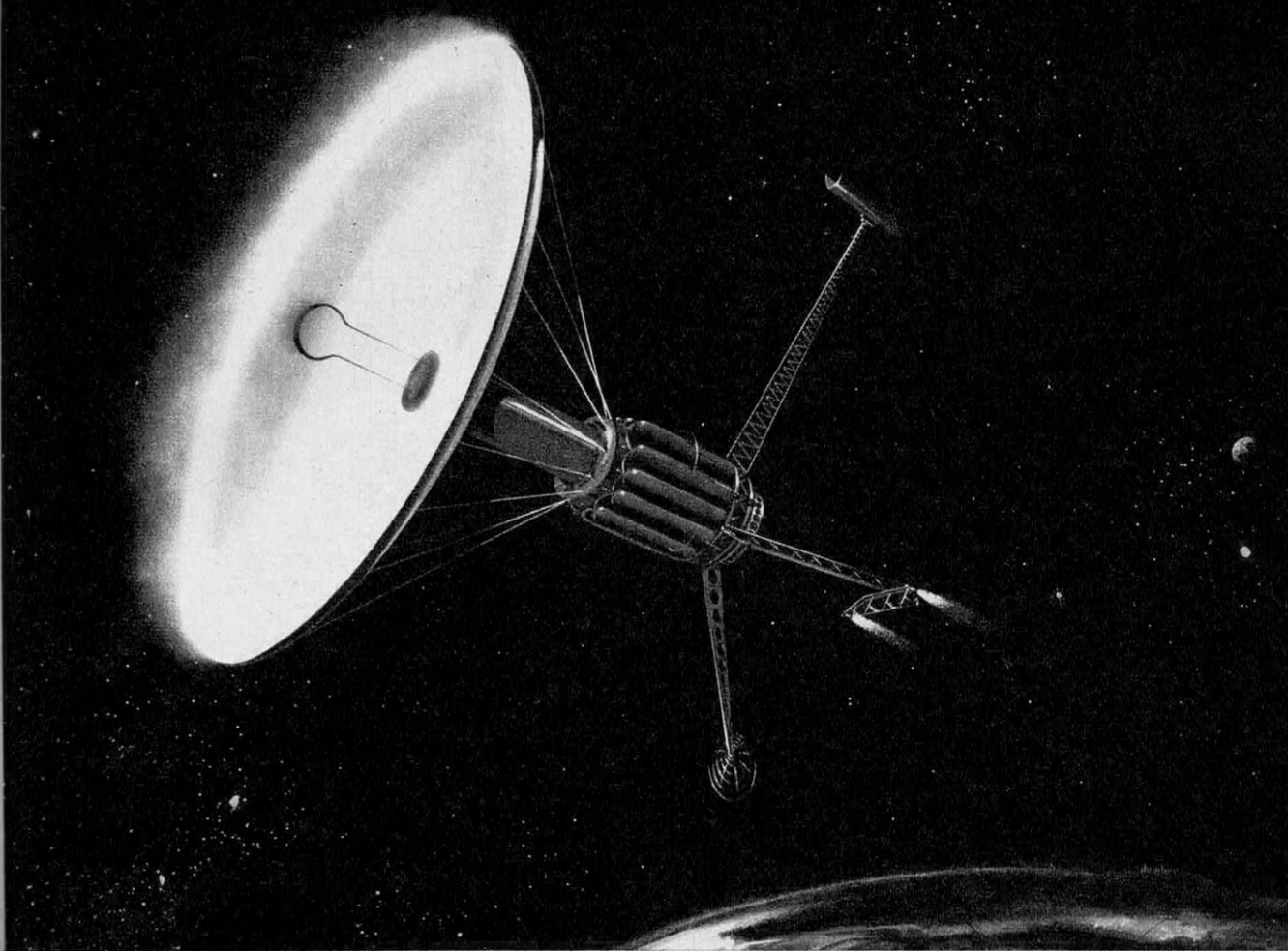
comme l'écran anti-gravitation cher aux auteurs de romans de science-fiction. Nous n'indiquerons ici que les principes des deux modes de propulsion qui sont actuellement à l'étude aux États-Unis, sur contrats officiels se chiffrant par des millions de dollars : la propulsion par radicaux libres et la propulsion ionique ; nous dirons quelques mots de la propulsion photonique que des déclarations soviétiques répétées ont affirmé être à l'étude en U.R.S.S., mais surtout, faute de précision, pour en souligner les difficultés.

Les radicaux libres

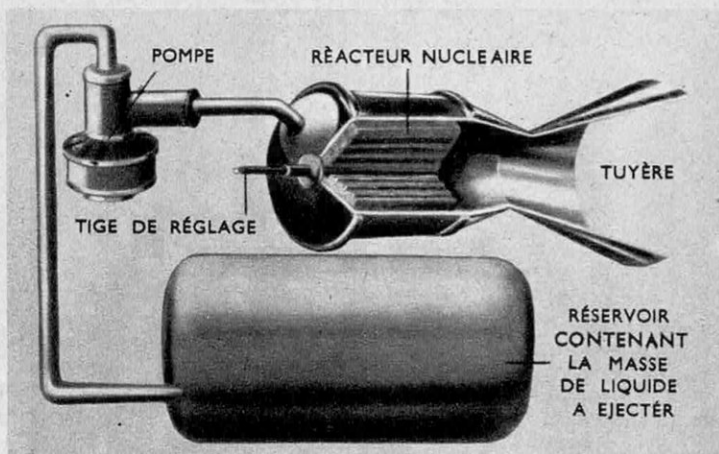
Les radicaux libres sont des fragments de molécules représentant la forme la plus concentrée d'énergie chimique découverte jus-

DEUX VÉHICULES COSMIQUES

Dans ces deux projets d'avant-garde, la source d'énergie est le Soleil. En haut, les rayons concentrés portent le fluide des réservoirs à haute température ; les gaz éjectés fournissent une poussée de quelques kilogrammes. En bas, la propulsion est ionique (l'aile n'est que la surface radiante servant de source froide pour le moteur actionnant la génératrice électrique) ; la poussée est de quelques grammes, mais dans de longs voyages, la vitesse de l'engin pourrait atteindre des centaines de milliers de kilomètre à l'heure.



LA PROPULSION NUCLÉAIRE sous sa forme théoriquement la plus simple: le fluide propulsif est puisé dans le réservoir où il est stocké sous pression par une pompe qui l'envoie à travers un réacteur nucléaire percé de canaux. Les gaz sont éjectés par la tuyère après avoir été portés à haute température et propulsent l'ensemble.



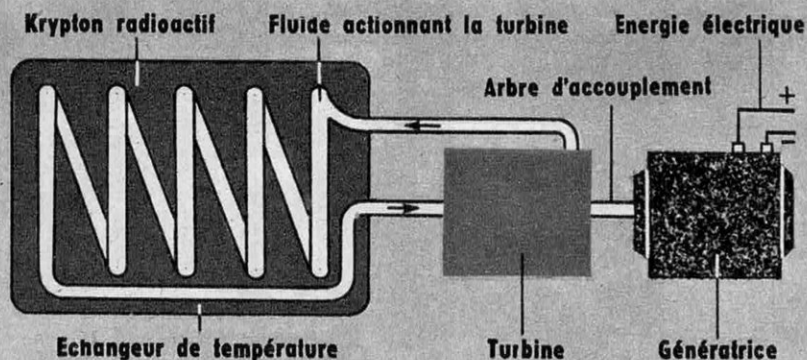
qu'ici, dix à vingt fois plus grande que celle des réactions entre combustibles et comburants usuels. Leur étude est suffisamment avancée pour qu'un congrès réunissant des participants américains, britanniques, canadiens et français se soit tenu l'été dernier aux États-Unis pour en discuter.

Sous leur forme la plus simple, les radicaux libres sont les atomes d'un élément dont la molécule en contient normalement deux. L'oxygène et l'azote, par exemple, se présentent dans la basse atmosphère sous la forme de molécules O_2 et N_2 formées chacune de deux atomes. Mais, dans l'ionosphère, on rencontre en partie ces gaz sous forme d'oxygène et d'azote « atomiques » O et N . Il suffit de chauffer de l'air à quelques milliers de degrés pour que l'oxygène et l'azote moléculaires se transforment en oxygène et azote atomiques; c'est ainsi que ces produits apparaissent, passagèrement, dans la « couche limite », au voisinage immédiat de la paroi d'un projectile à vitesse hypersonique.

Dissociation des molécules

Sur les molécules plus complexes, cette dissociation aboutit à un mélange de produits variés dont la figure de la page 88, précisant la teneur des divers constituants d'une combustion en fonction de la température, donne déjà un exemple. Si, au lieu de brûler dans l'oxygène un hydrocarbure comme l'éthane C_2H_6 , on le dissocie en radicaux libres, on obtient un mélange complexe de C , H , $C=C$, $C-H$... dont la « res-sociation » en une molécule C_2H_6 dégage six fois plus de chaleur que la combustion de cette molécule dans l'oxygène. Les deux réactions peuvent d'ailleurs être combinées; le combustible et le comburant seront emportés séparément sous forme de radicaux libres et injectés dans la chambre de combustion.

L'emploi des radicaux libres se heurte à plusieurs difficultés. La première est la construction d'une chambre de combustion et d'une tuyère résistant aux températures



LES SUBSTANCES RADIOACTIVES peuvent constituer des sources d'énergie de faible puissance, jusqu'à une dizaine de watts, pour alimenter les auxiliaires ou même des propulseurs ioniques à bord des astronefs. La chaleur qu'elles dégagent en se désintégrant peut être utilisée suivant le schéma de principe ci-contre. Les plus économiques sont fournies par les produits de fission de l'uranium dans les réacteurs nucléaires, en particulier le krypton 85.

UN ASTRONEF NUCLÉAIRE→

C'est la transposition à bord d'un astronef du schéma de la page précédente, le réacteur nucléaire étant seulement distinct de la tuyère. Bien que l'engin ait été dessiné par un physicien de la General Electric, il paraît peu réalisable sous cette forme simplifiée.

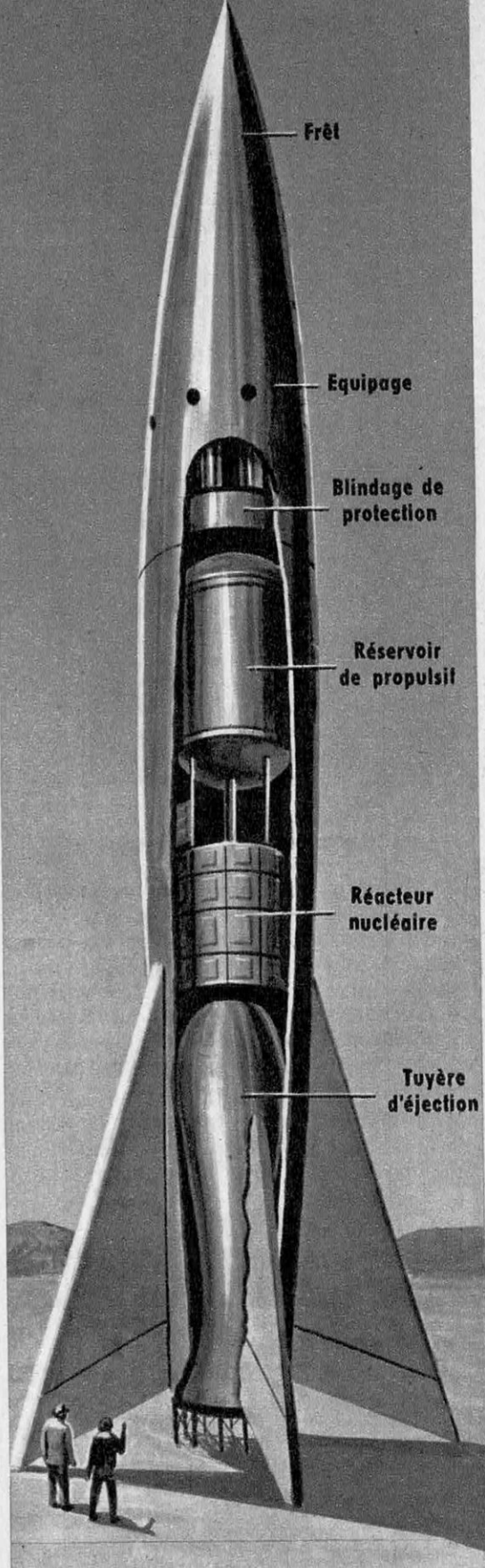
développées. Assurément, il n'est ni possible ni nécessaire de franchir d'un seul coup l'étape entre les 1 000 et 1 500 °C des chambres actuelles et les 20 000 et 30 000 °C que donneraient les plus intéressants des radicaux libres, si l'on parvenait à dégager à nouveau l'énergie qu'il aura fallu dépenser pour leur fabrication. Le retour à la composition initiale ne se fait que par une réaction d'équilibre et il y a beaucoup d'« imbrûlés ». Il faut cependant envisager des températures de 5 000 à 7 000 °C, qui dépassent les limites de résistance des matériaux les plus réfractaires et des dispositifs de refroidissement les plus ingénieux.

Les problèmes de fabrication seraient probablement plus aisés. Le chauffage suffit à la dissociation, à des températures élevées mais qui ne dépassent pas celles de l'arc électrique; c'est le procédé employé depuis des années pour l'étude de l'hydrogène atomique. Aux températures très inférieures, celles de l'ionosphère, l'énergie des radiations ultraviolettes est un puissant outil de dissociation de molécules.

Conservation des radicaux

La plus grave des difficultés est, de beaucoup, la conservation des radicaux libres qui tendent si facilement à se recombiner. Pourtant l'oxygène et l'azote de la haute atmosphère, dissociés en éléments atomiques par l'ultraviolet pendant le jour, ne se recombinent que lentement pendant la nuit, ce qui indique un minimum de stabilité. Différents procédés ont été étudiés pour une conservation de longue durée : les très basses températures, voisines du zéro absolu, qui semblent avoir été expérimentées avec succès par l'armée américaine, le mélange avec des gaz inertes tels que l'hélium et l'argon, l'emploi de champs magnétiques et électriques intenses. Tout cela ne s'applique malheureusement qu'assez mal aux astronefs.

En dehors de l'emploi des radicaux libres sous leur forme la plus générale, deux possibilités s'offrent pour la navigation dans la



haute atmosphère. La première est la formule du « satelloïde », c'est-à-dire d'un véhicule naviguant à une altitude où la traînée dans l'atmosphère le freinerait très rapidement et où il a besoin, pour se maintenir sur cette orbite, d'un appoint de puissance supplémentaire; la solution est dans un statoréacteur prélevant les composants de l'atmosphère sous forme atomique et les rejetant sous forme moléculaire. C'est à cette étude que se rattache la création récente d'un clair de lune artificiel par l'Office de la recherche scientifique de l'U.S. Air Force, au moyen d'un catalyseur envoyé par fusée dans la haute atmosphère; un catalyseur solide, appliqué sur la paroi interne du statoréacteur, serait indispensable pour la propulsion du satelloïde.

La deuxième application est la récupération des éléments atomiques et radicaux libres produits dans la couche limite des engins hypersoniques. Leur recombinaison dans un dispositif rappelant également le statoréacteur pourrait exercer une poussée réduisant notablement la traînée. C'est l'une des perspectives d'avenir du planeur de transport hypersonique et de l'engin semibalistique.

La propulsion ionique

L'aviation américaine s'intéresse suffisamment à la propulsion ionique pour que cinq contrats de recherches aient été passés, jusqu'en août dernier, avec Avco, Giannini, North American (Division Rocketdyne), l'Université d'Utah et l'Armour Research Foundation. D'autres étaient négociés, à la même époque, avec Convair et Aerojet.

La propulsion ionique est une des variantes de la propulsion atomique. La fission de l'uranium, par exemple, fournirait l'énergie, mise sous forme électrique et action-

SATELLITE COMPOSITE

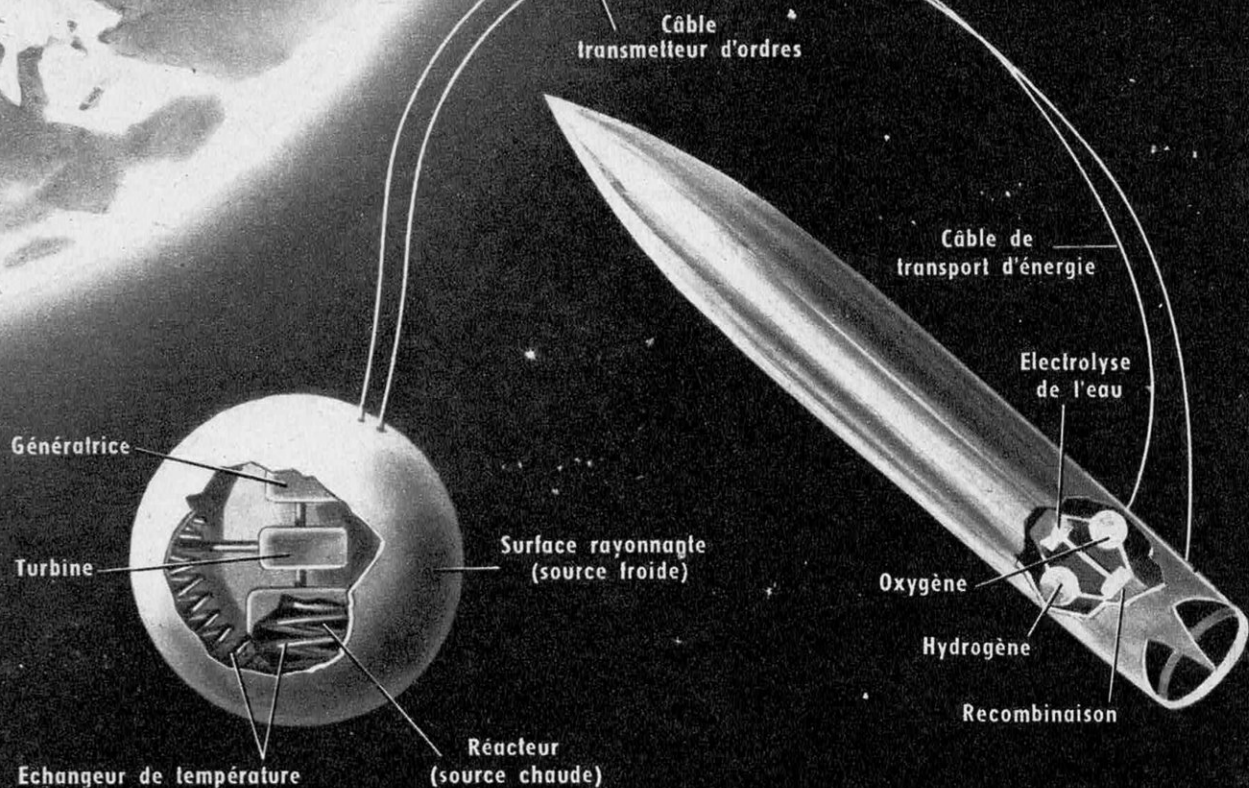
Il se composerait de deux parties reliées par des câbles, ce qui permet de maintenir à distance de l'astronef proprement dit la sphère contenant la source primaire d'énergie constituée par un réacteur nucléaire. La protection du personnel contre les rayonnements est plus aisée. L'énergie parvient au véhicule interplanétaire sous forme d'un courant électrique qui électrolyse de l'eau. L'oxygène et l'hydrogène sont stockés dans des réservoirs et recombinaison lorsqu'on veut entreprendre des vols d'exploration avec retour à la source d'énergie pour recharge.

nant ainsi un accélérateur de particules, soit électrostatique, soit électromagnétique. Pour être sensible à l'action de ces accélérateurs, la matière ne doit pas se présenter sous la forme électriquement neutre des atomes et molécules habituels, mais sous forme « ionisée », c'est-à-dire privée d'au moins un électron.

L'avantage essentiel de la propulsion ionique est la possibilité d'obtenir des vitesses d'éjection considérables, que les plus optimistes estiment à mille fois les vitesses des meilleures fusées chimiques actuelles. L'impulsion spécifique passerait donc de 250 s environ à quelque 250 000 s; les vitesses des astronefs ainsi propulsés pourraient atteindre 1 500 km/s, c'est-à-dire que l'on pourrait envisager des voyages interplanétaires à telle distance qu'on le voudra. La contre-partie est le poids considérable de l'appareil moteur, donc la très faible accélération avec ses inconvénients quant à la durée du voyage, et la nécessité d'un moyen de propulsion auxiliaire pour le départ ou l'arrivée sur une planète. La propulsion ionique se caractérise donc par une économie extrême de « propulsif » (qui

COMPARAISON DES SYSTÈMES DE PROPULSION

Système de propulsion	Vitesse d'éjection (m/s)	Accélération (en g)	Rapport puissance - poussée (kW/kg)	Possibilité de réalisation
Chimique.....	3×10^3	1 à 8	15	Technologie éprouvée
Énergie nucléaire ou solaire avec gaz léger....	$4 \text{ à } 6 \times 10^3$	1 à 8	20 à 30	Technologie connue dans son principe
Énergie nucléaire avec ions	1×10^5	10^{-4}	500	Technologie connue dans son principe
Photons	3×10^8	1 à 2	3×10^6	Technologie inconnue



résulte de l'énorme valeur de l'impulsion spécifique), mais elle se paye par une installation d'un poids considérable. Sous les réserves indiquées plus loin, on pourrait comparer cette propulsion à celle d'un moteur très lourd mais à très faible consommation.

Un voyage Terre-Mars

Les chiffres suivants, extraits d'un avant-projet d'astronef pour le voyage Terre-Mars et retour, dû au Dr Ernst Stuhlinger,

l'un des plus réputés parmi les techniciens en fusées de l'armée américaine, précisent ces caractères de la propulsion ionique. Le poids au départ serait de 730 t, dont 365 t de « propulsifs » et 150 t de charge « commerciale ». La puissance électrique serait de 23 000 kW, alimentant l'accélérateur sous 5 000 volts; la poussée, pour propulsion ou pour freinage, de 50 kg seulement. Le voyage Terre-Mars demanderait 400 jours.

La propulsion ionique pose un très délicat problème, celui de la vitesse d'éjection optimum, problème qu'on ne rencontre pas

CARACTÉRISTIQUES DES VOYAGES AVEC PROPULSION PAR PHOTONS

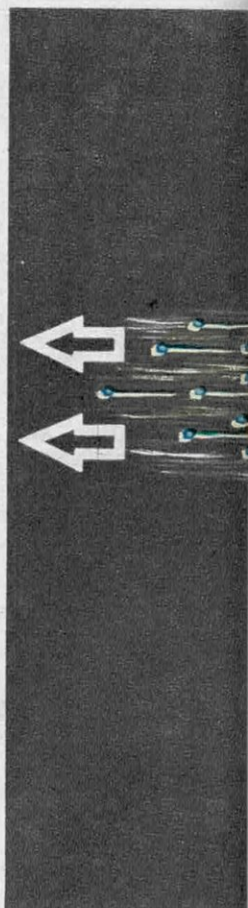
Voyage	Rapport de masse	Durée sur l'astronef	Durée sur la Terre	Distance
Moitié du tour de la Terre ..	1,00007	47 minutes	47 minutes	2×10^4 km
Lune.....	1,0003	3,5 heures	3,5 heures	4×10^5
Planètes.....	1,006	2 jours	2 jours	10^8
Alpha Centauri.....	20	3,6 ans	6 ans	4×10^{13}
Centre de la Galaxie	10^4	20 ans	6×10^4 ans	$2,8 \times 10^{17}$
Nébuleuse d'Andromède	10^{11}	26 ans	$2,5 \times 10^8$ ans	7×10^{18}
A travers l'Univers.....	10^{19}	42 ans	4×10^9 ans	$3,2 \times 10^{22}$

sur les fusées ordinaires où, la vitesse de l'astronef et la vitesse d'éjection étant du même ordre, le rendement propulsif reste acceptable. A l'inverse de la fusée, les accélérateurs de particules donnent très facilement des vitesses d'éjection de plusieurs centaines de kilomètres par seconde. Mais le rendement propulsif pendant la longue période d'accélération où la vitesse de l'astronef ne dépasse pas quelques dizaines de kilomètres par seconde, c'est-à-dire sur la plus grande partie du parcours, devient alors extrêmement faible. La consommation de matière fissile du réacteur atomique, source d'énergie, s'en ressent; ce n'est pas grave, étant donné l'énorme quantité d'énergie qu'on peut extraire d'un chargement d'uranium ou de plutonium. Malheureusement, la puissance de l'installation électrique est amplifiée dans le rapport où baisse le rendement propulsif. Un compromis s'impose donc entre la consommation de « propulsif », qui est d'autant plus faible que la vitesse d'éjection est plus grande, et le poids de l'installation génératrice d'énergie, qui suit la loi inverse.

Le « propulsif » généralement proposé est le rubidium ou le césium; ces métaux s'ionisent avec un excellent rendement s'ils sont vaporisés et portés au contact d'une surface de platine chauffée. L'accélérateur,

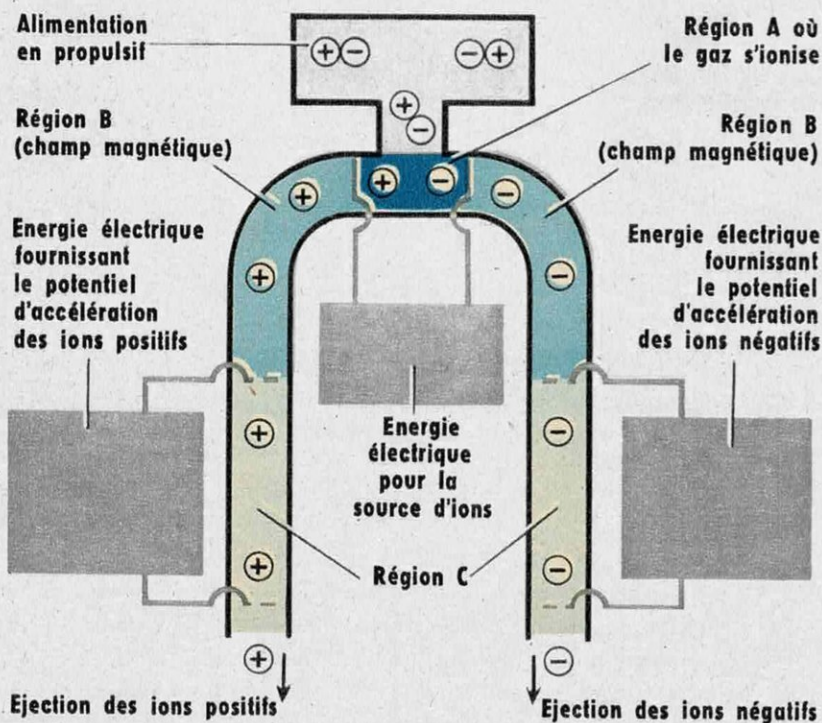
LA PROPULSION IONIQUE

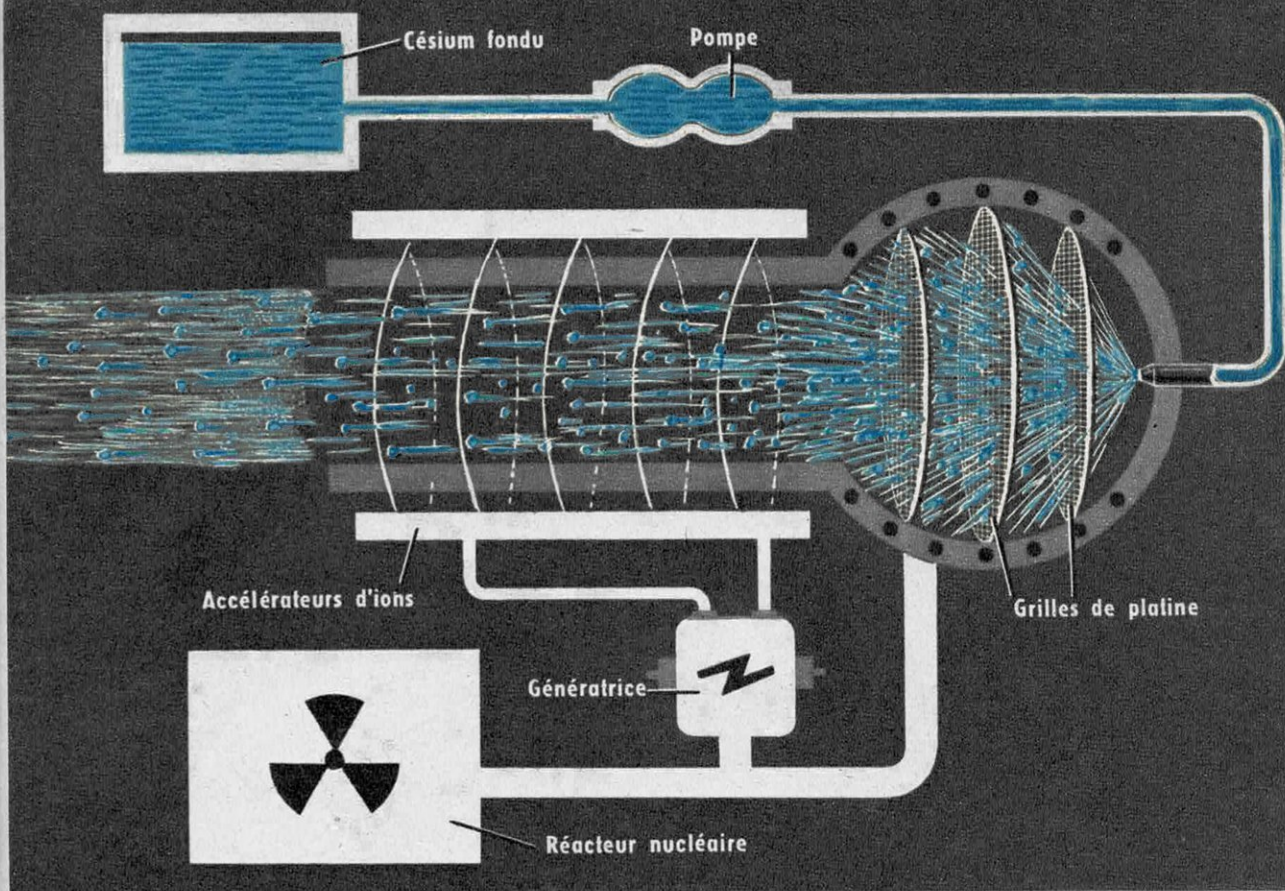
conviendrait aux astronefs circulant au delà des couches denses de l'atmosphère terrestre. Le « propulsif » d'une fusée à ions pourrait être un métal alcalin, tel que le césium ou le rubidium qui s'ionisent abondamment lorsqu'ils sont vaporisés en présence d'une surface chaude de platine ou de tungstène. Ces ions seraient canalisés et accélérés par des champs électriques ou magnétiques pour être éjectés à grande vitesse. On voit ici un schéma de propulseur ionique à césium où l'énergie est fournie par un réacteur nucléaire.



SCHEMA DE PRINCIPE d'un propulseur ionique.

La matière à éjecter est à l'état de molécules neutres. Celles-ci sont injectées dans la région A où elles perdent des électrons, ce qui donne des ions positifs: les électrons peuvent demeurer libres ou se fixer sur d'autres molécules neutres, ce qui donne des ions négatifs. Les ions sont extraits de la source et séparés par un champ électrique, puis ont leur trajectoire courbée dans la région B par un champ magnétique qui les oriente dans la direction où aura lieu l'éjection. Ils sont enfin accélérés dans la région C.





s'il est électrostatique, aura des dimensions extrêmement réduites, de l'ordre du centimètre pour une alimentation sous 5 000 volts et une vitesse d'éjection de 100 km/s. Bien que les électrons ne puissent produire, en raison de leur faible masse, aucun effet propulsif utile, il faut les éjecter par un autre accélérateur pour ne pas porter l'astronef à un potentiel négatif excessif.

La propulsion photonique

A plusieurs reprises, des savants soviétiques, dont le professeur Staniukovitch, ont affirmé que l'U.R.S.S. travaillait sur des fusées « photoniques », pouvant approcher la vitesse de la lumière, et qui ne seraient guère utiles que pour les voyages interstellaires.

L'idée de base de la propulsion photonique est l'éjection unidirectionnelle d'un faisceau de « photons », c'est-à-dire d'un faisceau lumineux, qui serait obtenu à partir de la matière par transformation de celle-ci en énergie selon l'équation d'Einstein.

Les difficultés sont multiples et paraissent pour le moment insolubles.

La conversion de matière en énergie, par exemple celle d'un électron et d'un positon s'annihilant mutuellement pour donner une émission de rayons gamma, est restée du domaine de la physique nucléaire expérimentale, mais n'est pas passée sur le plan technique.

Le pouvoir réflecteur des chambres où se ferait la réaction et des miroirs de collimation, ou bien la transparence des lentilles si l'on préfère celles-ci aux miroirs, devrait être de l'ordre de 0,99999999. Ce n'est pas une question de rendement, mais seulement de non-fusion de l'ensemble propulsif.

Les problèmes de la propulsion photonique, en dehors de l'U.R.S.S., ont été parfaitement posés par E. Sænger. Il aboutit à la conclusion qu'on ne doit en attendre la solution que de nouvelles découvertes en recherche scientifique de base, et non par le progrès de nos techniques actuelles.

Camille ROUGERON



L'HOMME POURRA-T-IL VIVRE A BORD D'UN ASTRONEF?

LA physiologie aéronautique a pu résoudre aisément les problèmes que posait pour l'homme le vol en avion à des vitesses subsoniques et à des altitudes déjà élevées, de l'ordre de 12 000 m. Mais lorsqu'il s'agit de vols à haute performance ou de navigation dans l'espace, des facteurs nouveaux apparaissent qui ne peuvent être étudiés sur les bases de la biologie terrestre classique.

Or l'exploration de l'espace ne peut être vraiment fructueuse que si un homme lucide, en possession de tous ses moyens physiques et intellectuels, capable de prendre des observations et des décisions que nul robot ne pourrait prendre à sa place, peut y participer. Il n'est donc pas un domaine de la recherche astronautique qui

puisse être envisagé sans le secours des disciplines médicales.

L'analyse des effets du vol interplanétaire sur l'organisme humain ne doit pas seulement porter sur l'action des rayonnements et sur les troubles physiologiques divers auxquels il est exposé. Elle ouvre au neurologue et au psychiatre un champ d'études entièrement nouveau sur les réflexes, le maintien des fonctions organiques et les réactions mentales dans l'état d'absence de pesanteur, de confinement et d'angoisse propre à l'exploration sidérale.

Les effets des accélérations

Ces effets sont connus de longue date et ont été particulièrement étudiés en France, au Laboratoire Médico-Physiologique du Centre d'Essais en vol de Brétigny (1).

Ils sont avant tout d'ordre circulatoire et dépendent de la direction des forces d'inertie par rapport à l'axe longitudinal du corps, axe selon lequel sont alignés les gros vaisseaux, aorte et carotides. Lorsque ces forces agissent dans le sens tête-siège (position assise ou debout), il se produit un refoulement brutal de la masse sanguine vers l'abdomen et les membres, ce qui entraîne

(1) Nous sommes redevables au Médecin-chef de ce Laboratoire, le Commandant Achiary, et à ses collaborateurs de nombreuses données dont il est fait état dans cette étude.

LA PESANTEUR SUPPRIMÉE

L'étude expérimentale des effets physiologiques et psychosensoriels de l'absence de pesanteur sur l'organisme humain est très difficile. On ne peut en effet réaliser l'état d'apesanteur que pendant des temps très courts, de quelques dizaines de secondes, au cours de vols spécialement calculés, où le pilote d'un avion s'astreint à suivre la trajectoire parabolique qu'aurait un projectile s'il n'y avait pas d'atmosphère. Le sujet semble ici flotter dans l'air, devant l'expérimentateur attaché à la paroi de la cabine.

une diminution de pression dans les artères carotides irriguant le cerveau. Les cellules nerveuses sont extrêmement sensibles à l'anémie et on observe une cécité passagère, ou « voile noir » traduisant l'anémie rétinienne, et des troubles nerveux conduisant rapidement à la perte de connaissance.

Le seuil d'accélération auquel apparaissent ces troubles est variable selon les tolérances individuelles. Il se situe chez l'homme entraîné autour de 3 g.

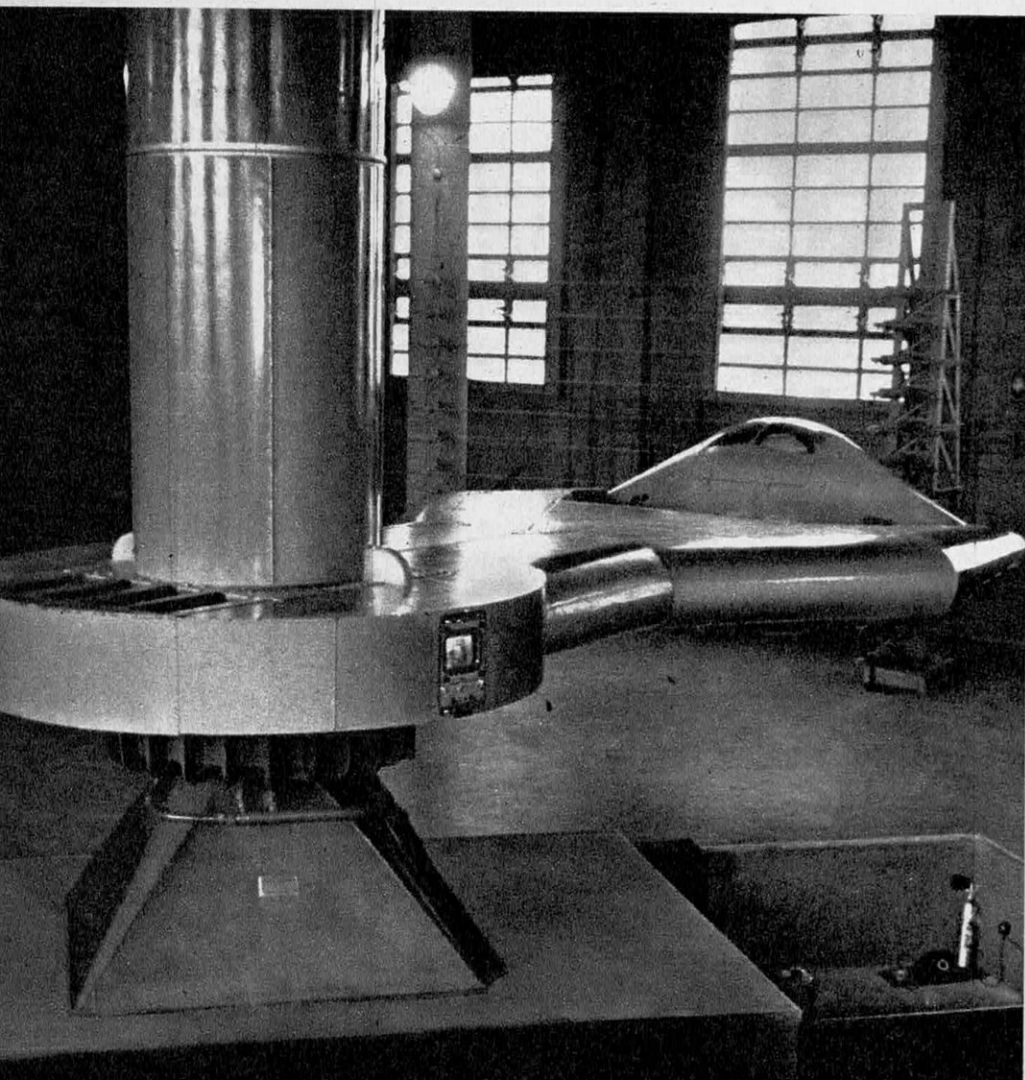
Ce seuil peut être élevé dans des proportions importantes par deux méthodes : l'une consiste à placer le sujet de telle sorte que l'axe longitudinal du corps soit perpendiculaire à la direction de l'accélération (ce qui correspond au sujet couché). C'est ce qui explique pourquoi les animaux dont l'axe vasculaire est normalement horizontal, comme le chien, montrent à

l'épreuve de la centrifugation une sensibilité moindre que l'homme.

L'autre méthode — qui permet de gagner 2 g environ dans l'accélération — est le port de combinaison *anti-g* comprenant soit des poches qui se gonflent en fonction de l'accélération au niveau du bas-ventre et des membres inférieurs, s'opposant ainsi au reflux sanguin, soit des bourrelets gonflables qui réalisent une pression égale du vêtement sur le corps.

L'expérience a montré que, revêtu de la combinaison anti-g et couché perpendiculairement à l'axe de décollage de l'engin, l'homme peut supporter 12 g pendant plusieurs minutes; le chien supporte pendant un temps très long une accélération de 10 à 15 g. Ces chiffres sont certainement au-dessus de ceux qu'il faudrait envisager pour les fusées de lancement à trois étages.

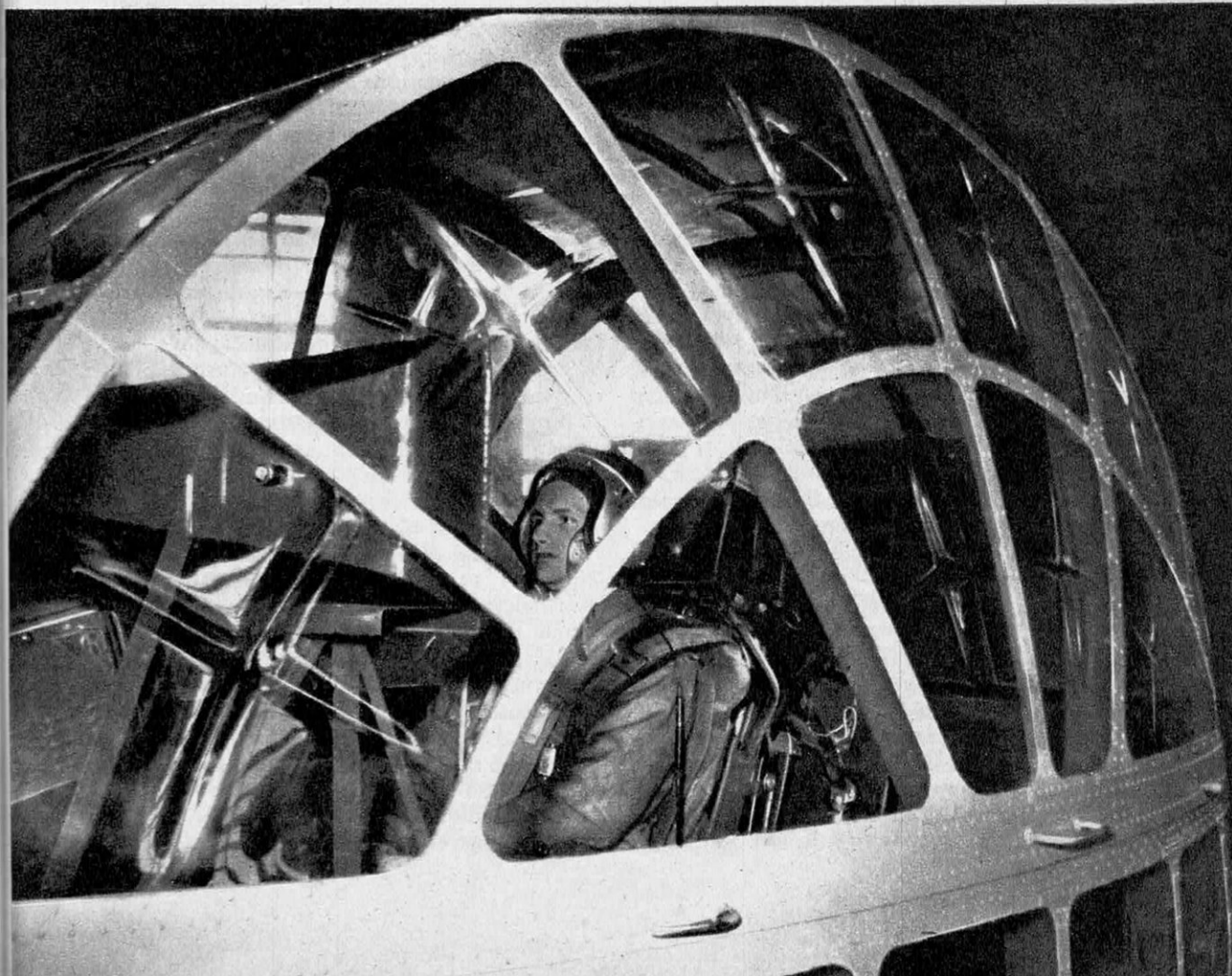
Au Centre d'Essais en Vol de Brétigny, la centrifugeuse soumet





les pilotes observés par télévision à une accélération de 15 g.

Doc. Centre d'Essais en Vol - Brétigny



Quant à la vitesse même de l'engin, elle ne joue aucun rôle du point de vue physiologique; ce qui compte, ce sont uniquement les accélérations. Ainsi la chienne russe, dans un satellite en vol libre à 29 000 km/h, n'a pu percevoir ce déplacement, pas plus que nous ne percevons le voyage de la Terre autour du Soleil, effectué à plus de 100 000 km/h.

L'échauffement

Le passage de l'aéronef à travers les basses couches de l'atmosphère s'accompagne d'un échauffement important. Une partie de la chaleur est irradiée vers l'extérieur et le reste, qui se transmet vers le cœur de l'aéronef, risque de dépasser très rapidement les limites de tolérance humaine.

Pour compléter les systèmes de refroidissement de l'atmosphère de la cabine et les parois isolantes, dont le poids doit être limité, les médecins de l'espace ont mis au point une combinaison ventilée dont le principe est d'assurer, sous un vêtement isolant, une circulation d'air frais et sec. Certaines difficultés inhérentes à l'impossibilité de se servir de l'air extérieur ionisé des hautes altitudes et au problème de la protection des mains, des pieds et de la tête subsistent encore.

Elles se résoudront, semble-t-il, par le jumelage de la combinaison ventilée et du vêtement d'altitude sous la forme d'un scaphandre aérien.

Vibrations et bruits

Les engins de haute performance sont bruyants et il faut assurer aux pilotes une protection efficace contre les vibrations sonores, infrasonores et ultrasonores qui, agissant sur l'organisme par l'ébranlement des organes de l'oreille interne et par l'excitation des terminaisons sensibles de la peau, des muscles, etc., produisent l'éblouissement acoustique et des troubles dont les manifestations psychiques peuvent être graves.

L'effet « stressant » de ces bruits est d'autant plus marqué qu'ils précèdent le « silence mortel » du vol cosmique.

Un casque spécial et un isolement judicieux de la cabine doivent les atténuer.

Les vibrations de fréquences basses qui provoquent diverses perturbations (modification du métabolisme basal, troubles des réflexes tendineux, sensations de fourmillement, de tassement, troubles psychiques) particulièrement redoutées dans les avions s'approchant de la vitesse du son, semblent

Le laboratoire Médico-Physiologique du Centre d'Essais en Vol de Brétigny possède un équipement des plus modernes pour l'étude des nombreux problèmes touchant à la médecine aéronautique. On voit en particulier page 104 la grande centrifuge qui fournit, pour l'expérimentation sur l'homme, une accélération centrifuge de 15 g et, pour celle sur les animaux ou les instruments, une accélération centrifuge de 40 g avec une vitesse périphérique de 180 km/h. On voit ici les caissons d'altitude, l'un de 10 m³, l'autre de 60 m³. Une altitude fictive de 30 000 m peut être atteinte en 115 minutes dans le petit caisson.

ne pas devoir jouer un rôle important aux accélérations de départ nécessaires à l'arrachement des fusées.

Le séjour dans l'aéronef

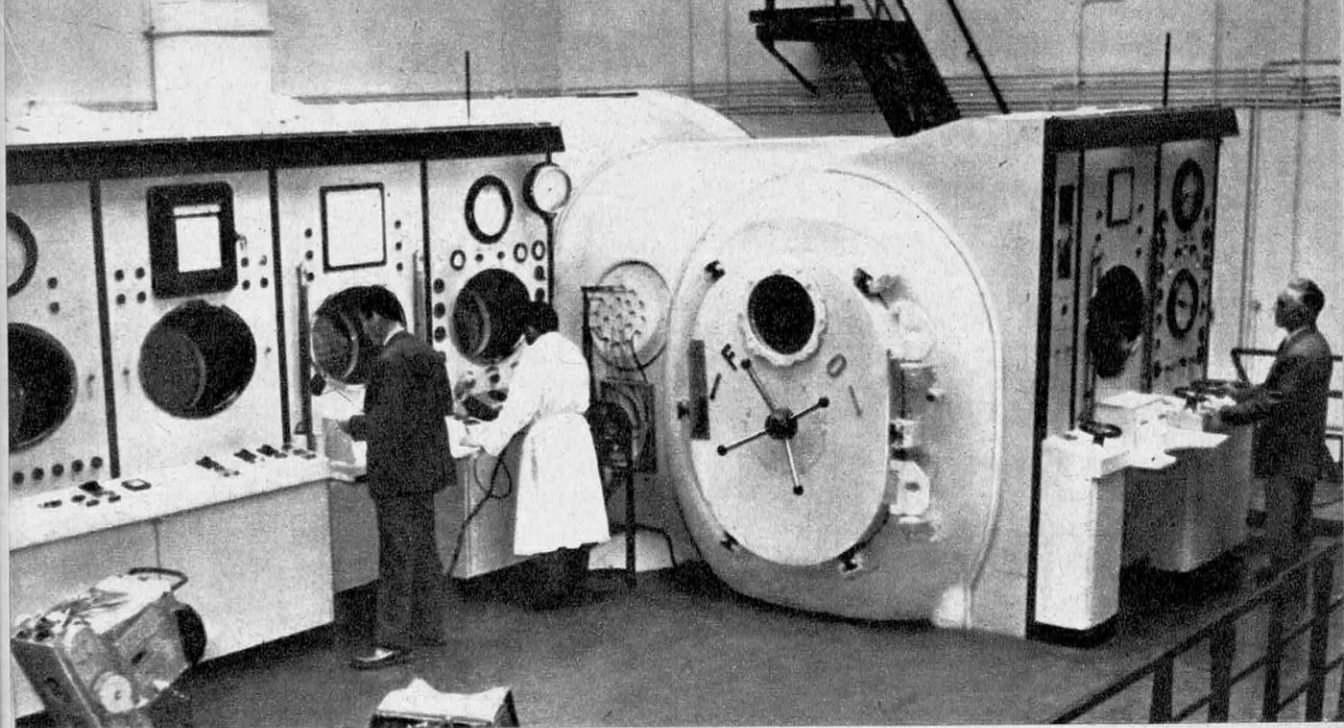
Pour le biologiste, le problème du séjour de l'homme dans l'espace cosmique est essentiellement celui de sa protection contre un environnement dont les caractéristiques physiques sont encore assez peu connues.

La biologie de l'espace n'en est qu'à ses débuts et n'a atteint son stade expérimental qu'en octobre 1957, lorsqu'un satellite évoluant à très haute altitude a pu communiquer aux laboratoires spécialisés les premières informations.

Jusque-là de savants calculs et de non moins savantes déductions avaient permis d'esquisser un tableau des conditions de vie sur les planètes. C'est ainsi que le laboratoire de biologie de l'école de Médecine aéronautique de Randolph, dans le Texas, a publié récemment les résultats d'une étonnante expérience semblant bien démontrer la présence de la vie sur la planète Mars : des échantillons de terre analogue à celle qui, d'après les travaux de télespectrographie, recouvre cette planète, avaient été placés en ballons scellés dans les conditions de l'atmosphère martienne : 1/20 de l'oxygène terrestre, 1/10 de notre pression atmosphérique, une sécheresse extrême et des passages de + 20 à - 30 degrés centigrades tout au long d'un jour de 24 heures 37 minutes et 22,6 secondes, ce qui aurait dû normalement éliminer rapidement toutes traces de vie, jusqu'aux amibes.

Cependant, au grand étonnement des observateurs, certains microorganismes survécurent et se multiplièrent, leur couleur bleu vert rappelant étrangement celle que l'on peut observer sur certaines parties de la planète Mars.

En attendant que se développe cette science nouvelle qu'est la biologie du ciel,



les médecins de l'espace se sont efforcés de résoudre des problèmes que l'on pourrait sommairement classer en problème du vol sans pesanteur, problèmes de confinement (pression, respiration, alimentation, excrétion), problèmes de rayonnement et problème psychologique de l'adaptation à des conditions anormales prolongées.

L'absence de pesanteur

Lorsqu'un astronef, tous propulseurs arrêtés, parcourt un milieu assez ténu pour n'opposer aucune résistance à son déplacement, il est soumis alors aux seules forces d'attraction qu'exercent sur lui et ses occupants les astres proches et lointains; on dit qu'il est en « vol libre ». La pesanteur apparente y est nulle. Il en est de même, pour un temps qui ne peut être que très court, dans certains vols d'avions où le pilote s'astreint à suivre une trajectoire parabolique calquée sur celle que parcourrait un projectile balistique si l'atmosphère terrestre ne le freinait pas.

L'absence de pesanteur n'affecte pas le système circulatoire. Les dangers qu'elle présente relèvent essentiellement des facteurs psychosensoriels.

La diminution ou la suppression de la pesanteur est perçue par un ensemble d'organes, dits mécano-récepteurs, qui nous envoient à chaque instant des renseignements habituellement inconscients, sources de réflexes coordonnés très complexes

assurant l'harmonie des mouvements et le sens de l'équilibre.

Certains de ces organes sont logés dans l'oreille interne : c'est l'appareil vestibulaire qui nous fait connaître la position et les mouvements de la tête, et nous permet de percevoir les mouvements rectilignes accélérés subis par le corps (sensations de l'ascenseur).

Les voies nerveuses de la sensibilité profonde, qui permettent le sens baresthésique (ou des déformations élastiques créées par les pressions ou tractions affectant les diverses parties du corps), le sens musculaire (donnant la notion exacte des efforts accomplis par les muscles en action) et le sens des attitudes (qui renseigne sur les positions respectives des segments mobiles du corps), complètent les renseignements transmis par l'appareil vestibulaire.

L'excitation intense du vestibule peut s'accompagner de réflexes soit musculaires, soit viscéraux (nausées, troubles vaso-moteurs, troubles respiratoires) dont les conséquences peuvent être évidemment très graves.

L'état de gravité zéro affecte profondément le sens baresthésique et l'appareil vestibulaire, puisqu'il supprime leur excitant normal et principal, et se traduit par une sensation de chute, aggravée par la discordance des sensations visuelles.

L'expérience a montré que ces mêmes impressions visuelles peuvent, après une période d'adaptation, devenir un facteur de correction : il se crée une accoutumance,

avec construction d'un nouvel « état-zéro » psychologique. Ce phénomène a pu être étudié récemment pour une durée de quelques dizaines de secondes au cours de vols sur les chasseurs supersoniques « Starfighter » dont les trajectoires avaient été spécialement calculées. Un important facteur de susceptibilité individuelle conditionne l'accoutumance et les travaux américains montrent que, pour une durée courte, 50 % des sujets s'accommodent fort bien de l'état de « flottement », 25 % le supportent, sans plus, et 25 % sont affectés profondément.

L'adaptation au vol libre

Le conditionnement au sol semble faciliter cette adaptation — où le rôle de facteurs psychologiques reste important chez l'homme — et un curieux travail sur le « comportement en gravité zéro des Tortues de Mer d'Amérique du Sud » nous en a donné les principes. Le Dr Von Beckh avait remarqué la précision remarquable des tortues dans la recherche de leur proie; il s'embarqua un jour sur un avion à réaction avec une tortue normale et une tortue dont le vestibule avait été détruit quelques semaines auparavant. Il leur offrit des biscuits au moment précis où, lors de plongées calculées de l'avion, la pesanteur n'existait plus. Si la tortue normale manquait à tout coup ses proies, l'infirme au contraire, habituée à corriger des yeux l'absence d'équilibre, n'en ratait pas une. Douze vols-plongeon suffirent d'ailleurs à sa compagne pour qu'elle coordonne elle aussi parfaitement ses mouvements par une adaptation de la vue très semblable à celle qu'utilise le pilote à son tableau de bord.

Depuis ces expériences, des souris, des singes et très récemment la chienne russe Laïka, sont venus apporter leur contribution à la question fondamentale des possibilités de vie normale en gravité zéro.

La vie sans pesanteur

Il reste que cette vie impliquera de curieuses sensations : la marche étant impossible, l'équipage ne peut se déplacer qu'à l'aide de gaffes de marinier, de bottes magnétiques ou de chaussures à succion. Il n'y a plus ni plafond, ni plancher, et tous les objets flottent dans la cabine. La coordination des mouvements doit être entièrement révisée, car ils ne sont plus freinés par la pesanteur ni par le poids des muscles et des os.

Les aliments peuvent être déglutis sans difficulté, car la pesanteur ne joue qu'un rôle restreint dans cette fonction. Par contre les liquides se maintiennent dans l'espace sans support, sous forme de sphères (en raison de la tension superficielle) et il ne saurait être question de les faire sortir d'un récipient en les versant. Il faut donc utiliser un système de pompage, ou d'injection dans la bouche par une bouteille-seringue. La chienne expédiée par les Russes à 1 700 km d'altitude dans un satellite artificiel est le premier être vivant qui ait supporté pendant plusieurs jours cette étrange situation, à vrai dire après un conditionnement psychologique intense mené au sol pendant de longs mois suivant les méthodes de Pavlov. Les Russes savent déjà quels ont été les retentissements physiologiques de cette épreuve de longue durée grâce à l'enregistrement par télémesure du rythme respiratoire, de la pression sanguine et de l'électrocardiogramme de la chienne.

Les contrôles physiologiques de pilotes volant à plus de 12 000 m d'altitude et à 300 km de leur base sont couramment enregistrés au Centre de Brétigny, par une telle méthode de télémesure mise au point pour la France par le Dr Cabanon.

Si l'on admet que certains individus sélectionnés et préparés pourront supporter l'épreuve du vol prolongé en gravité zéro, il reste que l'on ne peut s'attendre de leur part à des réflexes normaux et que la cabine de l'astronef devra être entièrement conditionnée dans le sens de la simplification, de la compréhension rapide de l'information utile, et de la facilité des gestes d'exécution.

Problèmes respiratoires : la pression

Les problèmes de physiologie respiratoire posés par les voyages interplanétaires sont fonctions d'une part de la pression qu'il faut maintenir dans une cabine évoluant dans le vide, et d'autre part de la provision d'oxygène moléculaire nécessaire, puisque l'air est devenu irrespirable pour l'homme dès qu'il atteint la couche riche en ozone et que l'oxygène se trouve, au delà, à l'état atomique, et par conséquent inutilisable.

ALTITUDE FICTIVE: 152 KM ►

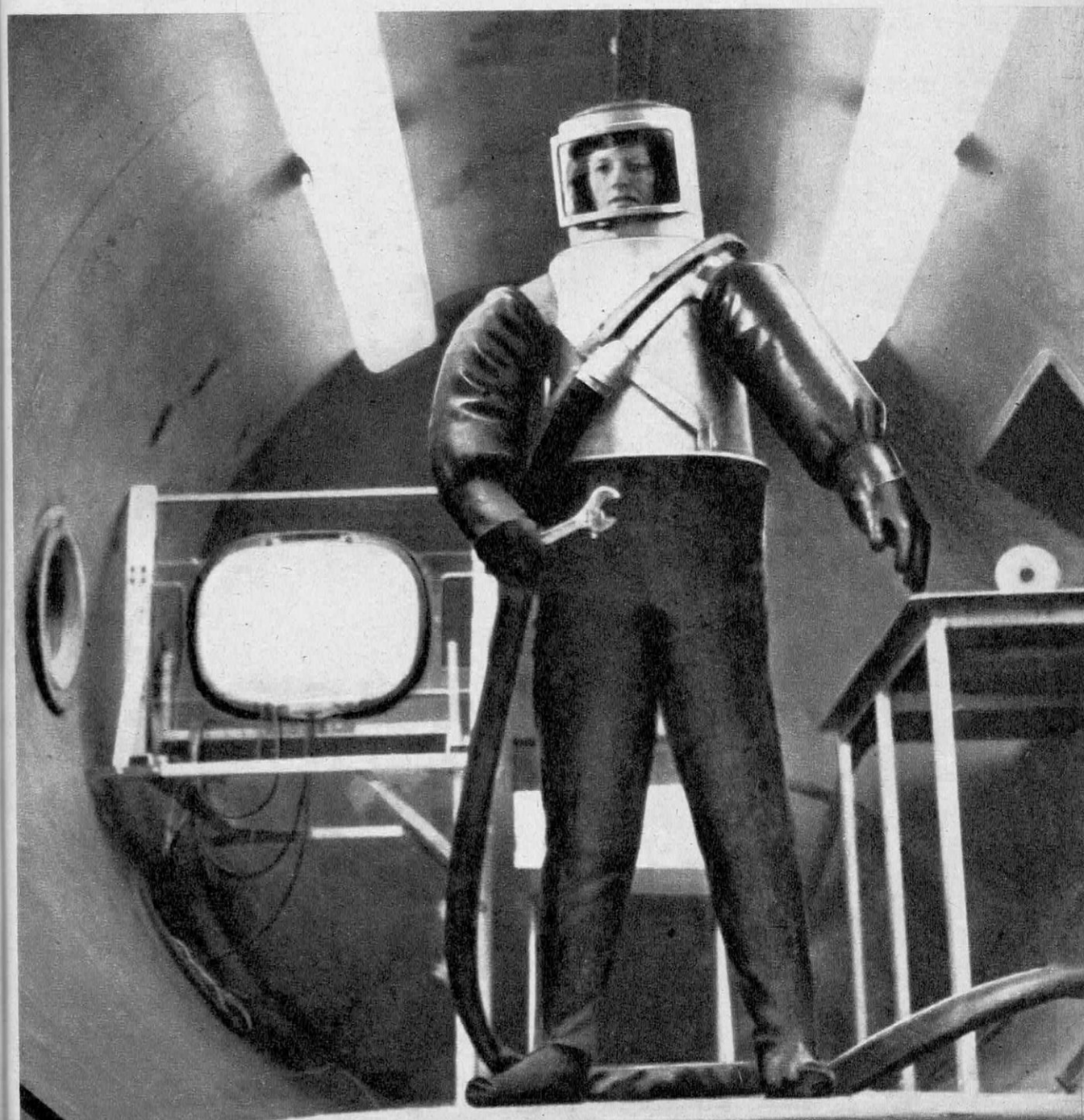
Ce caisson en acier a été réalisé aux U.S.A. pour étudier le comportement d'appareils électriques et électroniques dans une atmosphère raréfiée correspondant à 152 km d'altitude. On peut y pénétrer en scaphandre pour effectuer diverses mises au point.

Aux altitudes relativement basses, la protection de l'aviateur est assurée par l'association de la cabine pressurisée et de l'inhalateur d'oxygène. Au delà de 15 000 m, la limite supérieure d'emploi de l'inhalateur (même s'il fonctionne en surpression) est atteinte car, s'il enrichit l'air inspiré en oxygène, il ne peut modifier la pression partielle de ce gaz qui doit rester au niveau de 100 mm de mercure dans les alvéoles pulmonaires.

La solution la plus séduisante à ce problème est celle du scaphandre aérien. Sa

réalisation se heurte malheureusement à de nombreux obstacles.

En attendant, la protection s'effectue grâce à une « combinaison pressurisée », comprenant un ensemble pour la tête, un vêtement pour le corps et un régulateur de pression d'oxygène. Le vêtement, en nylon et coton, est étroitement ajusté au corps de l'aéronaute. Des tubes de caoutchouc courent le long des bras, des jambes et de chaque côté du dos. Ils sont reliés à la combinaison par de petits rubans croisés, de sorte qu'en se gonflant en fonction de la pression



ils appliquent avec force le vêtement sur tout le corps, réalisant une contre-pression très répartie. En France, le médecin-capitaine Colin a mis au point, au Centre d'Enseignement et de Recherche de Médecine Aéronautique et au Laboratoire Médico-Physiologique du Centre d'Essais en Vol de Brétigny, une combinaison pressurisée actuellement aux essais.

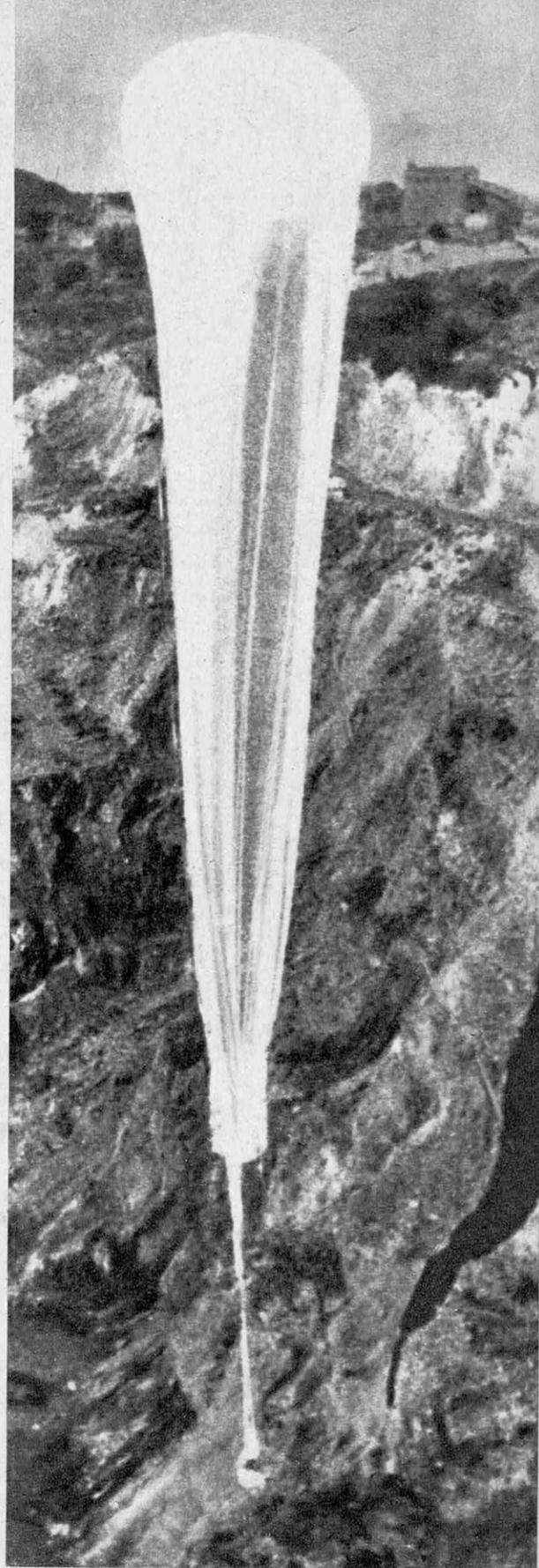
Le problème du séjour sur une planète telle que Mars ou Vénus, ne peut évidemment s'envisager qu'à l'aide de scaphandriers du vide. Les connaissances actuelles des conditions physiques régnant sur ces planètes sont cependant encore trop limitées pour que ces problèmes puissent dépasser le cadre de la spéculation pure.

L'approvisionnement en oxygène

La consommation d'oxygène par l'organisme varie entre 0,300 l/mn (à 20 °C et à la pression atmosphérique) et 1 l/mn suivant qu'il s'agit du minimum de base ou de l'effort musculaire. On doit prévoir en moyenne une consommation de 1,5 m³ par astronaute et par jour et, tout ravitaillement extérieur étant impossible à partir de 120 km d'altitude, car l'oxygène ne se rencontre plus qu'à l'état atomique impropre à la respiration, il faut couvrir la totalité des besoins par une provision convenable transportée sous pression.

L'utilisation de la fonction chlorophyllienne des végétaux verts permettrait de diminuer dans une mesure importante le volume de cette provision d'oxygène ; on sait que les végétaux verts soumis à la lumière réalisent par leur fonction chlorophyllienne la synthèse des sucres en absorbant le gaz carbonique et en rejetant l'oxygène : il s'agit là du seul catalyseur connu réalisant de façon pratique, molécule à molécule, la régénération de l'oxygène fixé sous forme de gaz carbonique.

Sachs a montré que pour une plante du type *Helianthus annuus*, et dans certaines conditions de température et d'éclairage, la production d'oxygène, avec absorption concomitante de gaz carbonique, peut s'élever à 200 l par jour, ce qui représente évidemment un appoint considérable. Les laboratoires américains travaillent beaucoup ce problème, et leur astronef artificiel au sol est équipé, au centre de Randolph, d'une culture d'algues vertes nourries de l'azote résultant de la distillation des urines et d'excréta. 2,5 kg de l'une de ces variétés étudiées se sont montrés suffisants pour fournir l'oxygène nécessaire à un homme.



Le ballon au moment de son départ.

En ballon libre à 31 000 m d'altitude

AU mois d'août dernier un immense ballon en polyéthylène, de 85 m de haut, portant à son extrémité inférieure une cabine en aluminium, sortait du fond d'une mine de fer à ciel ouvert, actuellement désaffectée, de l'État du Minnesota.

Un chirurgien de l'Air Force, le major David G. Simons, était enfermé dans l'étroite nacelle. Ce médecin de l'espace, âgé de 35 ans, avait subi une préparation spéciale pour cette mission d'information sur les possibilités de vol humain aux très hautes altitudes et, lorsque le ballon commença à s'élever à la vitesse de 365 mètres à la seconde, toutes les chances avaient été mises de son côté pour qu'il pût revenir sain et sauf sur terre avec une ample moisson d'observations.

Un avion C-47 suivit le ballon dans son ascension, tandis qu'au sol, radars et lunettes étaient pointés sur lui. Des appareils récepteurs enregistraient d'une manière continue le rythme de la respiration et les battements de cœur du major transmis par un émetteur contenu dans la nacelle. Des films spéciaux étaient disposés sur ses avant-bras et sa poitrine pour évaluer le nombre de rayons cosmiques transversant son corps. Il demeurait en communication radiotéléphonique constante avec le sol.

À midi, Simons était à 31 000 m d'altitude, battant le record du monde d'ascension en ballon libre. (Rappelons à titre de comparaison la performance du Bell-X-2 qui atteignit 38 006 m, mais n'y demeura qu'un temps très court.) Le ciel au-dessus de lui était absolument noir, et il ne put voir ni étoiles ni planètes. Quant à la Terre, elle lui apparaissait comme complètement délavée, sans aucune variété de coloration, mais finement divisée par les rivières et les lacs.

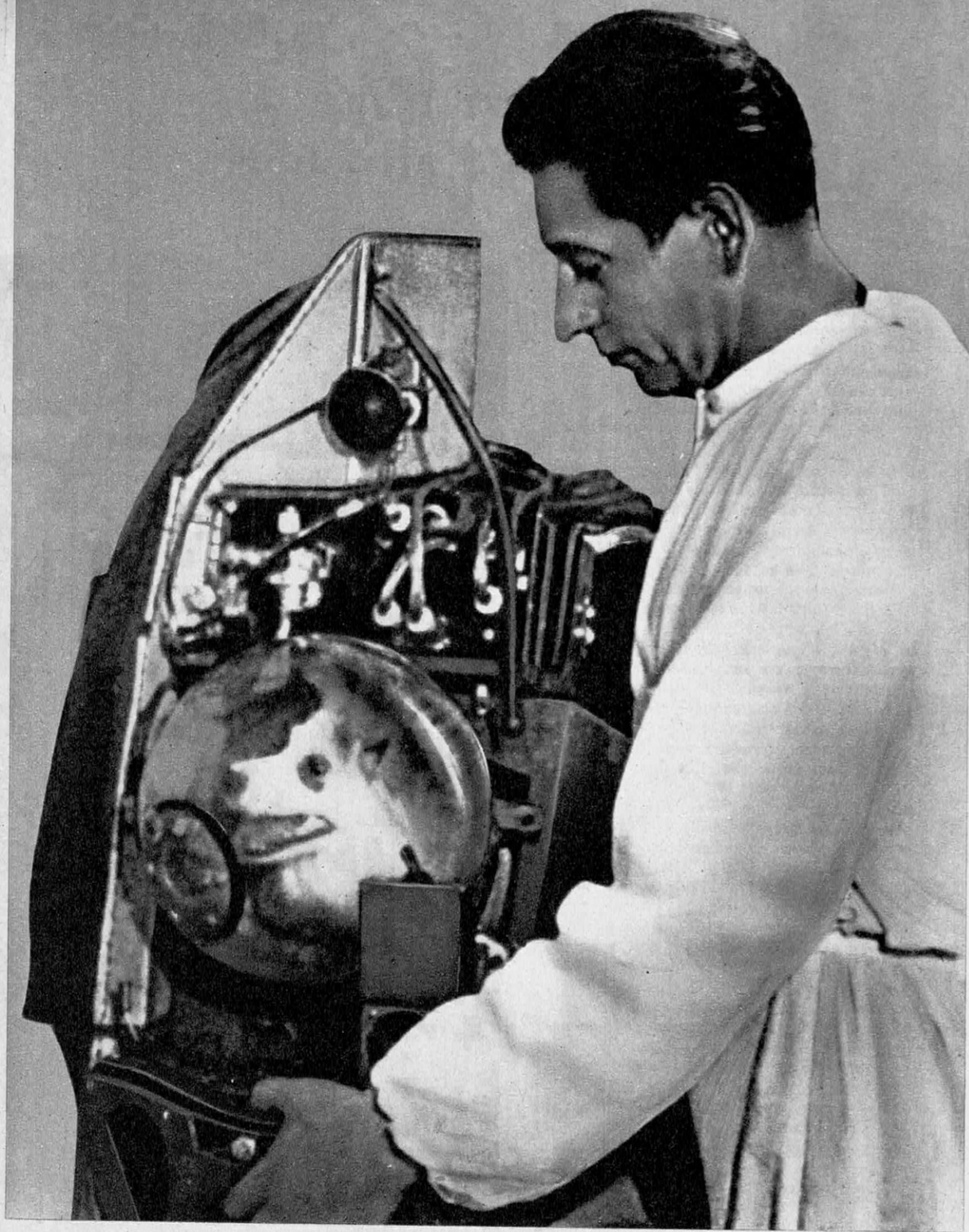
Des traces d'humidité furent décelées jusqu'à 21 500 m et des cumulo-nimbus furent rencontrés jusqu'à près de 20 700 m, soit 7 500 m de plus que l'altitude maximum que les météorologistes leur attribuaient jusqu'ici.

Pendant la nuit, l'hélium qui gonflait le ballon s'étant refroidi, celui-ci eut tendance à descendre vers des formations orageuses qui s'étaient constituées peu à peu. Parvenu vers 21 000 m, Simons dut lâcher du lest pour les éviter.

L'atterrissage se fit près de Frederick dans le South Dakota, à 600 km du point de départ. L'ascension avait duré au total 32 heures sur lesquelles le major Simons avait passé plus de 16 heures au-dessus de 27 000 m.



Le major David G. Simons.



United Press Photo

Les Russes envoient des chiens dans l'espace

Cette photographie extraite d'un film soviétique montre un chien installé dans l'ogive pressurisée d'une fusée de grande puissance qui l'emportera à plus de cent kilomètres d'altitude. Au cours des différentes phases du vol, on filmera son comportement

et divers appareils de mesure enregistreront ses réactions physiologiques. La retombée s'effectuera par parachutage de l'ogive séparée du corps de la fusée. D'après les Russes, les chiens pourraient supporter sans dommage de telles épreuves, mêmes répétées.

L'élimination du gaz carbonique

L'accumulation dans l'atmosphère de l'astronef du gaz carbonique dégagé par la respiration entraînerait des troubles physiologiques d'anoxémie et de cyanose. Il faut donc prévoir son évacuation, soit par un procédé d'absorption chimique, soit par la fonction chlorophyllienne. L'absorption chimique se fait par la chaux sodée employée sous forme de granulés au travers desquels on fait circuler l'air à épurer. Mais la quantité de chaux nécessaire représente une masse assez considérable. On peut la réduire en récupérant le produit absorbant par chauffage de la chaux carbonatée dans le vide.

D'autres méthodes d'épuration chimique sont actuellement à l'étude.

Il faut bien entendu prévoir l'élimination ou la récupération de la vapeur d'eau rejetée par la respiration, afin que le degré hygrométrique de la cabine reste dans les limites convenables.

L'alimentation

Les problèmes d'approvisionnement n'ont rien de spécifique à l'astronautique. Les rations équilibrées sous une forme très concentrée sont aujourd'hui bien au point, et le système d'épuration des urines s'est révélé très efficace et permet de diminuer la masse d'eau à transporter pour la boisson.

Le rythme biologique

La succession régulière des jours et des nuits conditionne un rythme physiologique organique et fonctionnel qu'il est impossible de briser brutalement sans entraîner un épuisement rapide de l'organisme.

Or, dans l'espace, il n'y a plus aucune référence pour le jour et la nuit. L'homme doit donc être adapté très progressivement à des jours artificiels de 18 à 28 heures. Cette adaptation se poursuit dès à présent dans certains centres de médecine aéronautique et prépare aussi bien les équipages des fusées intercontinentales, qui pourront quitter Paris à midi pour arriver à New York à midi aussi (heures locales), que ceux des futurs astronefs.

Problèmes psychologiques

Du point de vue psychologique, le voyage solitaire et monotone dans une cabine étroite, l'angoisse de l'inconnu, la fatigue due à des conditions physiologiques si nouvelles, posent une série de problèmes que les

uns s'attachent à résoudre chez l'animal par un conditionnement Pavlovien très poussé, et les autres, chez l'homme, par un conditionnement du même type et l'usage de drogues multiples abaissant le seuil de l'émotivité (tranquillisants).

La sélection préalable des sujets s'impose, tant du point de vue des possibilités de résistance mentale que de celui de l'adaptation physique à l'épreuve envisagée.

Enfin, une combinaison étroite homme-machine, doit s'établir, l'homme gardant son pouvoir de prendre des décisions, la machine lui simplifiant au maximum cette tâche en lui présentant de façon claire et précise des informations « prédigérées » auxquelles il réagit de façon presque réflexe. La conduite des fusées dépasse les limites d'activité du cerveau humain et cette association de l'homme et de la machine doit donc être préparée au sol, par un entraînement spécialisé.

Protection contre les rayonnements

Les effets possibles des rayonnements sur l'organisme humain sont mal connus car ils ne parviennent au sol que puissamment filtrés.

La disparition de la protection apportée par l'atmosphère vis-à-vis des radiations solaires peut avoir de graves conséquences : troubles oculaires du type ophtalmie des neiges pour les ultraviolets, brûlures de la rétine pour les infrarouges.

Une protection par écrans absorbants doit être envisagée pour les pilotes d'avions de haute performance. Les parois de l'astronef suffiront pour l'explorateur de l'espace.

Le rayonnement visible est lui aussi considérablement modifié, et la luminosité du ciel, due à la diffusion de la lumière solaire par les particules de l'atmosphère, diminue avec l'altitude. A 90 km il apparaîtra très sombre et à 150 km deviendra complètement noir tandis que les étoiles deviendront visibles. En même temps que la luminosité du ciel diminue, la luminosité inférieure s'accroît, jusqu'à une certaine limite. Ce phénomène pose aux médecins de l'espace un problème de protection des yeux contre l'éblouissement qui vaut surtout pour les pilotes de fusées, et qui peut être combiné avec cet autre problème de vision qu'est la myopie spatiale : des expériences ont en effet montré que si le champ visuel est vide, l'œil au repos ne se met pas au point à l'infini comme on l'avait admis jusqu'ici, mais à environ 1 m. Le pilote d'un engin volant à très haute altitude est donc inca-

pable de voir quoi que ce soit au delà de 2 à 3 km; on peut combattre cette myopie par un système complexe de miroirs qui permet l'observation du tableau de bord tout en obligeant l'œil à l'accommodation « à l'infini ».

Les rayons cosmiques

Les rayons cosmiques primaires, c'est-à-dire ceux qui atteignent les confins de notre atmosphère semblent être essentiellement des protons, dont l'origine n'est pas encore éclaircie, mais dont l'énergie cinétique est prodigieuse et le pouvoir ionisant considérable.

Sur un astronef, d'après des calculs de Schäfer basés sur l'épaisseur de l'air atmosphérique arrêtant les rayons cosmiques primaires, une épaisseur de 20 cm d'aluminium, de 5 cm de plomb ou de 6 à 7 cm de cuivre donnerait une protection suffisante. Ce calcul ne tient compte que de la masse nécessaire, et non d'une spécificité d'absorption encore mal connue selon la nature du matériau.

Les deux satellites successivement lâchés cet automne par les Russes devraient apporter de précieux renseignements sur la composition et l'intensité de ce rayonnement.

Quant à leurs effets sur les organes et les fonctions, un médecin de l'espace américain, le major Simons, n'a pas hésité, au mois d'août dernier, à passer plusieurs heures seul dans un ballon stratosphérique à 30 km d'altitude, pour les étudier. La chienne Laïka qui a vécu plusieurs jours dans le deuxième satellite russe à 1 700 km d'altitude, et dont les réactions étaient suivies du sol par télémessure, aura certainement fourni elle aussi des indications précieuses pour la solution de ce problème fondamental pour la sécurité des futurs astronautes.

Le retour à la Terre

Du point de vue physiologique, le problème du retour à la Terre ne diffère guère de celui du départ. Il s'agit de doser une décélération qui ne peut être supérieure à l'accélération du départ, et, par un système double de freinage et de cabine calorifugée, d'éviter l'échauffement lors d'une traversée trop rapide de l'atmosphère.

Un seul élément nouveau doit être envisagé : le « tumbling » ou culbutes que pourrait effectuer lors de sa chute un engin mal équilibré ou mal freiné et qui aurait sur l'astronaute des effets extrêmement graves; l'expérience a montré que le chimpanzé

meurt en 3 minutes d'hémorragie cérébrale s'il subit une accélération de 15 g avec rotation de 20 tours/min. Les lésions cérébrales sont déjà très marquées au bout de 15 secondes, et l'excitation anormale du vestibule peut elle aussi avoir de graves conséquences. Il faut donc parer aux effets du tumbling soit par un système gyroscopique maintenant la cabine et ses passagers dans une orientation fixe (l'axe longitudinal du corps demeurant perpendiculaire à la décélération), soit au moyen de volets stabilisateurs.

L'échauffement aérodynamique, les dangers de la décélération trop brutale ou du tumbling ne peuvent être évités par un équipement personnel de secours, même du type « scaphandrier du vide ». En cas d'accident mécanique, les astronautes devront être éjectés dans une cabine largable stabilisée.

Le professeur Pokorovsski, directeur de l'Institut de Recherches Aéronautiques de l'U.R.S.S., a exposé au récent congrès international des fusées et engins téléguidés les études relatives à l'activité vitale (pression artérielle, rythme respiratoire et cardiaque) de chiens non anesthésiés éjectés au cours de vols en fusée à une altitude de 100 km. Ces expériences n'ont montré aucune modification des réflexes conditionnés et des constantes biologiques après des descentes effectuées en chute libre jusqu'à 4 000 m du sol, soit dans des cabines hermétiques, soit dans des logettes non hermétiques, les animaux étant dans ce cas munis de scaphandres. L'éjection s'était faite à 1 000 m/s et les accélérations n'ont pas dépassé 5,5 g. 21 chiens spécialement entraînés participèrent à ces expériences, et certains d'entre eux eurent même le triste privilège de les répéter à plusieurs reprises, le tout sans aucun trouble apparent. C'est parmi l'un de ces « vétérans du ciel » qu'a été choisie Laïka qui fut, en novembre 1957, le premier conquérant, et le premier martyr de l'espace.

Les exploits de la tortue volante, du chimpanzé tournant ou du chien scaphandrier s'inscriraient mieux semble-t-il dans un feuilleton de science-fiction que dans les revues scientifiques fort austères où ils figurent aujourd'hui. C'est pourtant grâce à ces exploits, à la science, au courage et à l'imagination sans limite de cette race nouvelle de chercheurs que sont les médecins de l'espace, que la conquête du ciel ne sera pas laissée à la seule mécanique, et qu'il sera donné à l'homme d'y participer, dans un avenir qui paraît à présent très prochain.

Dr ESCOFFIER-LAMBIOTTE



**paraît
tous les mois**

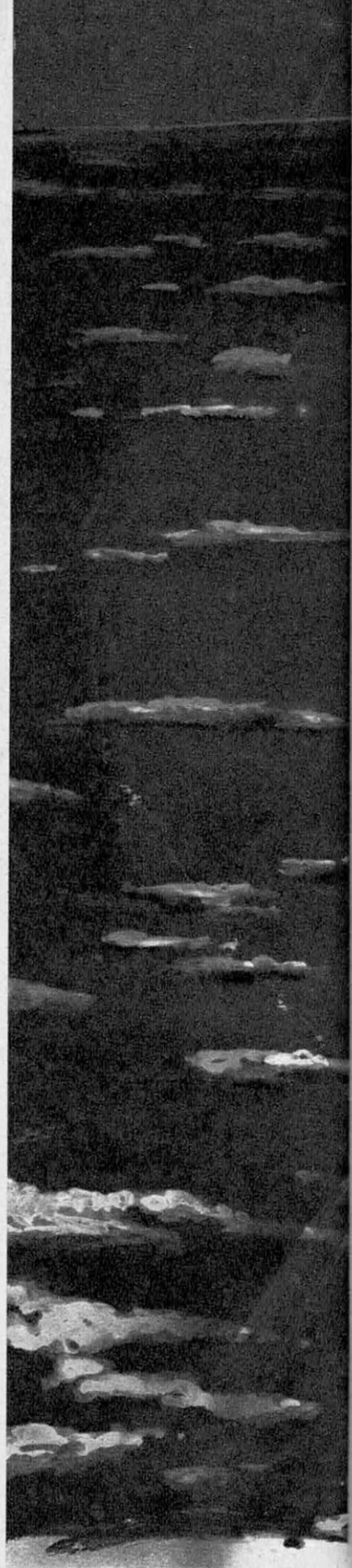
**L'actualité scientifique du monde entier
Des reportages exclusifs
Des grandes enquêtes sur les problèmes
que pose le monde moderne**

LES SATELLITES ARTIFICIELS

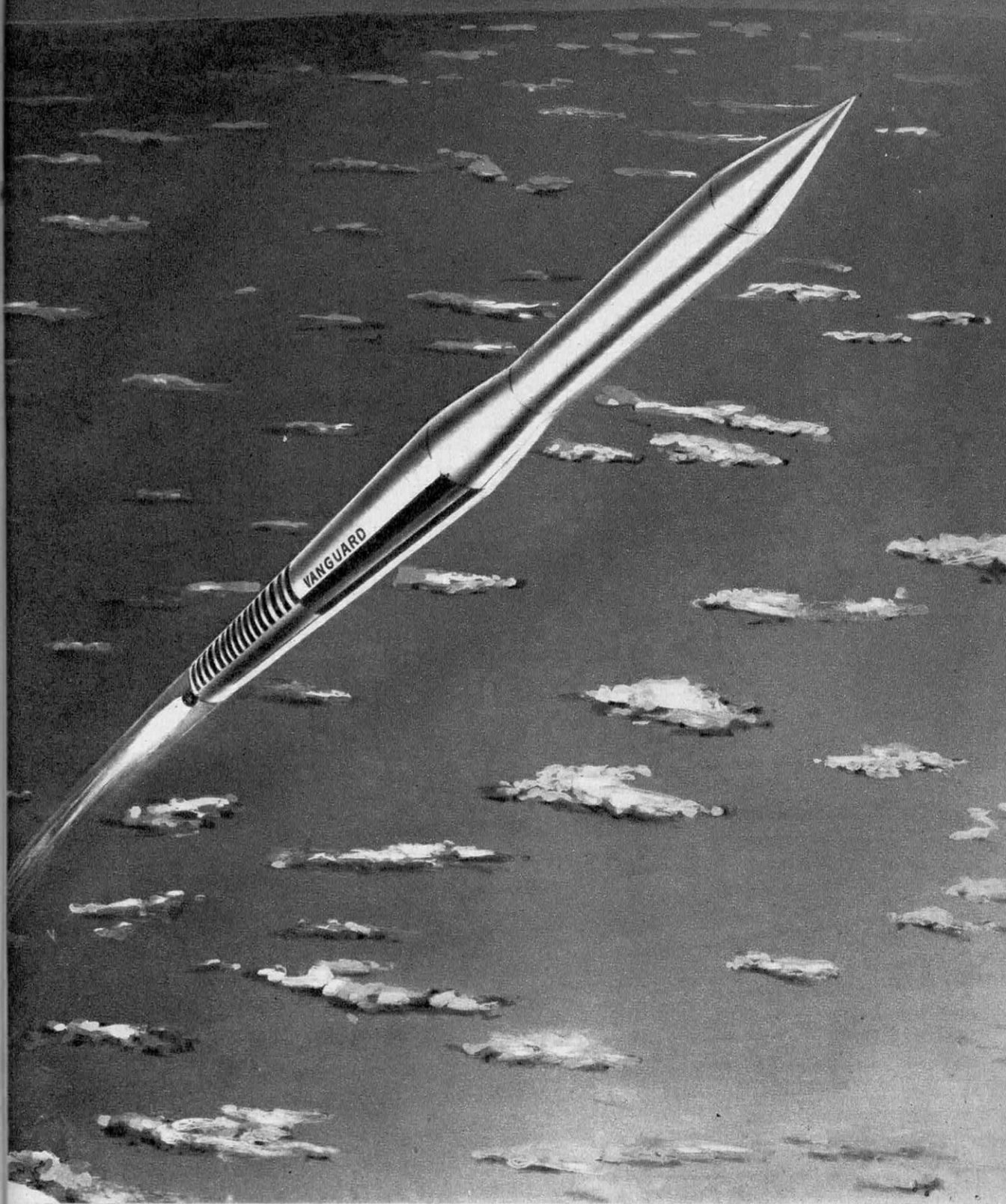
LA construction d'un satellite artificiel tournant autour de la Terre à la manière de la Lune, n'est pas une proposition nouvelle. Les spécialistes allemands de l'astronautique en discutaient dès 1923.

L'opinion publique ne commença à s'intéresser à la question qu'après la publication du rapport annuel au Congrès présenté en décembre 1948 par M. James V. Forrestal; le Secrétaire à la Défense des Etats-Unis y suggérait que les études de ces engins, jusqu'alors dispersées, fussent confiées à un seul organisme responsable du « Earth Satellite Vehicle Program ».

L'idée a fait du chemin depuis. Le projet « Mouse » de satellite minimum présenté en 1953 par S. F. Singer, professeur de physique à l'Université de Maryland, fut suivi en 1954 du projet « Orbiter » de l'Office of Naval Research qui prévoyait l'emploi d'un engin militaire comme premier étage de la fusée de lancement. Enfin, c'est en 1955, au moment où s'élaboraient les plans d'exploration de la haute atmosphère à l'occasion de l'Année Géophysique Internationale, que le Gouvernement américain décida de séparer le projet de satellite destiné à la recherche scientifique, dorénavant appelé « Vanguard »,

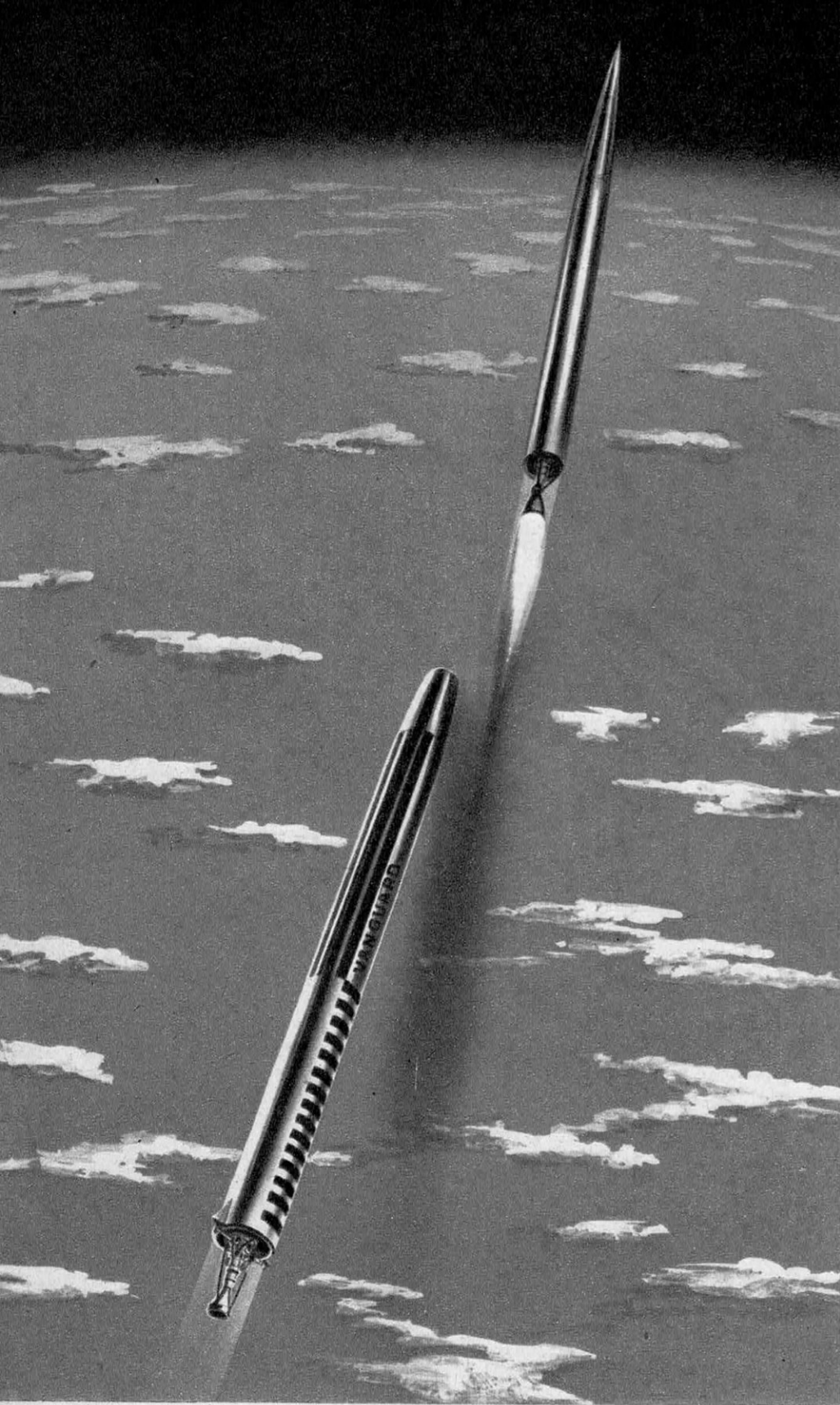


La fusée porte-



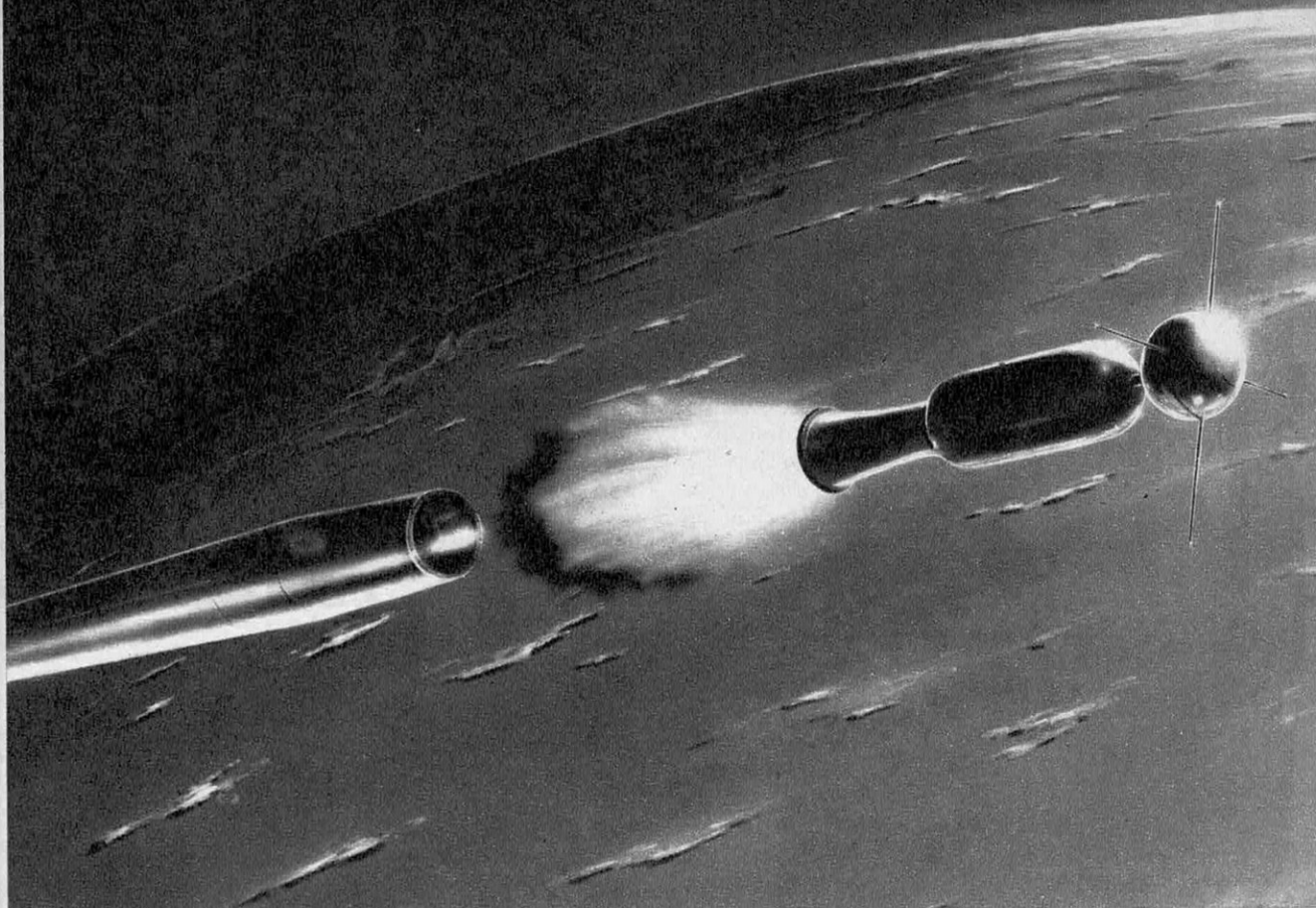
satellite du « Vanguard » s'élancera de Floride.



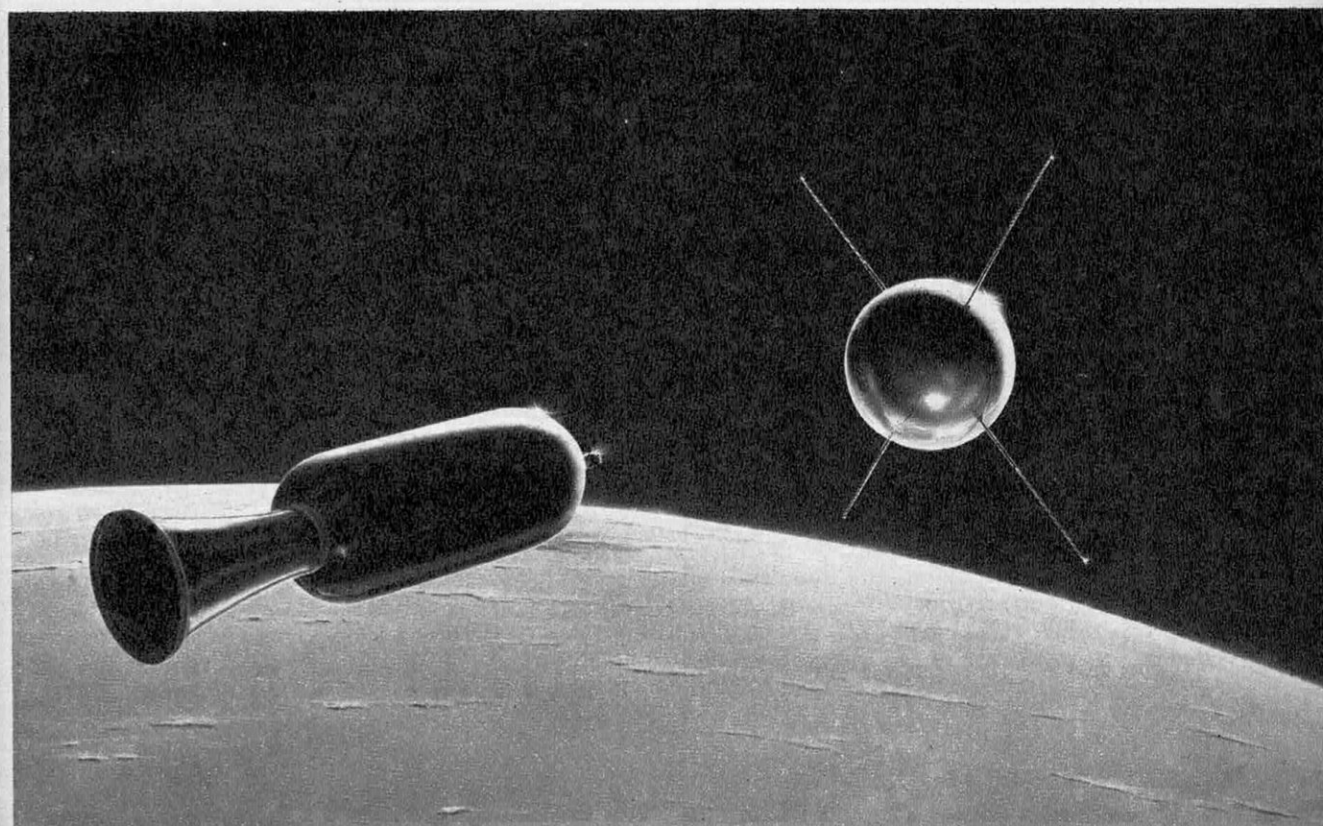


Le deuxième étage entre en action.

Le troisi



**ème étage, orienté suivant l'orbite voulue,
accélère et libère enfin le satellite.**



LE SATELLITE conçu par von Braun devait être établi à 1 720 km d'altitude, sur l'orbite de 2 heures. Le plan de cette orbite devait être convenablement incliné sur l'équateur pour que, la Terre effectuant un tour complet sur elle-même en 24 heures, les occupants du satellite voient défiler chaque jour au-dessous d'eux la totalité de la surface de la Terre.

des programmes d'engins balistiques intercontinentaux confiés aux trois armes, l'Armée, la Marine et l'Air Force. Il semble qu'en U.R.S.S., au contraire, le travail de développement des fusées soit demeuré unifié, car ce sont des engins militaires qui ont servi au lancement du « Spoutnik », ce qui pourrait expliquer en partie l'avance prise par les Russes.

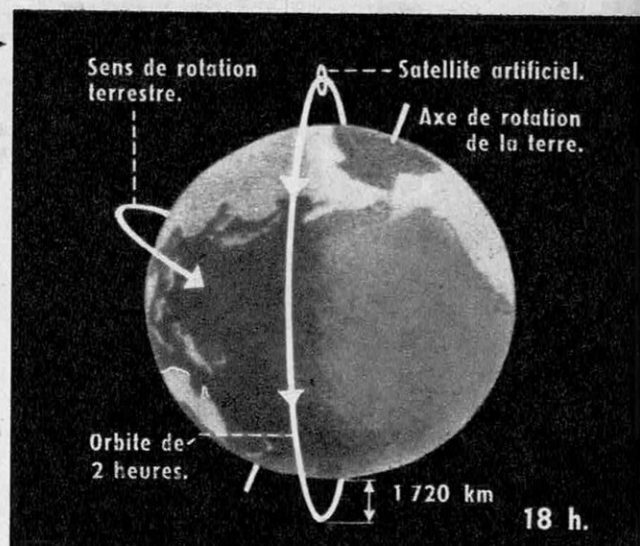
L'attraction terrestre

L'aspect paradoxal des mouvements célestes de corps qui s'attirent l'un l'autre et tournent indéfiniment l'un autour de l'autre sans jamais « tomber » l'un sur l'autre avait assurément de quoi troubler nos ancêtres. Le génie de Newton n'était pas de trop pour l'expliquer, et à en juger par la propriété fréquemment attribuée aux satellites artificiels d'« échapper à l'attraction terrestre », les leçons de Newton ne sont pas toujours bien comprises.

La Lune n'« échappe » pas plus à l'attraction de la Terre que la Terre à celle du Soleil. C'est cette attraction (proportionnelle au produit des masses et en raison inverse du carré de la distance) qui maintient la Terre et la Lune sur leurs orbites respectives. Si elle venait à disparaître, chacune continuerait sa route en ligne droite.

Dans les régions relativement proches où naviguent les satellites artificiels, la pesanteur conserve encore une valeur du même ordre qu'à la surface de la Terre. A 1 000 km d'altitude, par exemple, réduite dans le rapport du carré des distances au centre de la Terre, elle n'a diminué que de 25 %. L'attraction terrestre tombe au 1/50 de sa valeur au niveau de la mer lorsqu'on s'éloigne à 36 000 km et au 1/3600 à la distance de 384 000 km qui est la distance moyenne de la Lune à la Terre.

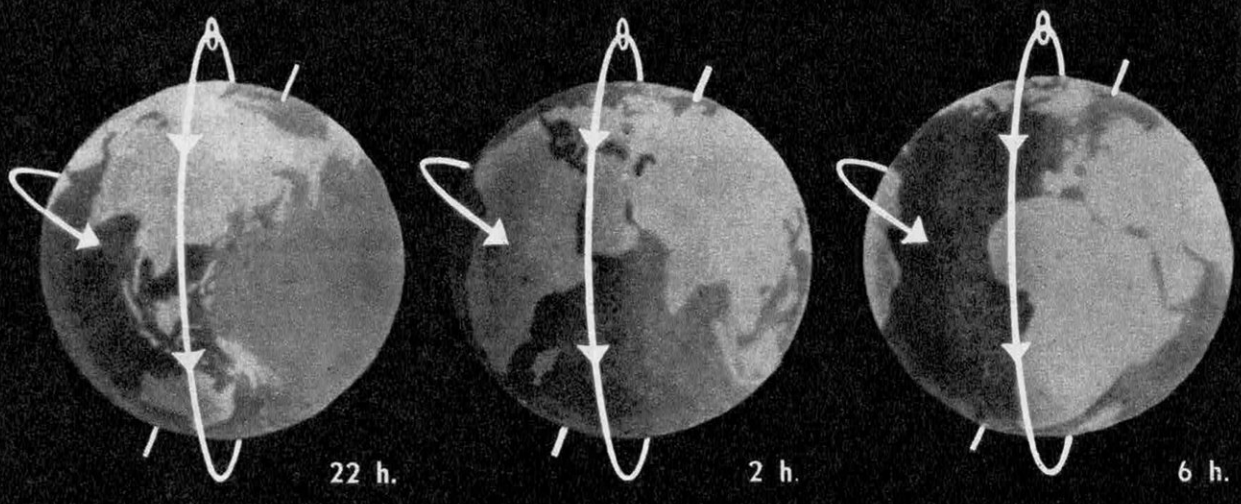
Si la Lune est attirée par la Terre, pourquoi ne tombe-t-elle pas sur elle ? C'est que dans son mouvement autour de la Terre, qui est presque circulaire (la Lune décrit en réalité, aux perturbations près, une ellipse de très faible excentricité), la distance au centre de la Terre et la vitesse ont des valeurs telles qu'à la force d'attraction s'op-



pose une force centrifuge qui l'équilibre exactement. L'existence des satellites n'est ni une question de distance absolue à leur planète, ni une question de masse, mais bien affaire de relation entre leur vitesse et leur distance. Nous supposons dans ce qui suivra, pour plus de simplicité, que les orbites sont circulaires, comme nous venons de l'admettre pour la Lune. Mais, en théorie comme en pratique, il peut exister un nombre infini d'orbites stables qui seraient des ellipses, dont le centre de la Terre occuperait l'un des foyers. Un corps parcourant une telle orbite fermée autour de la Terre, à condition qu'il reste toujours en dehors de l'atmosphère, poursuivrait son mouvement indéfiniment sans dépense d'énergie.

La vitesse des satellites

Revenons au cas simple de l'orbite circulaire. Puisque l'attraction terrestre décroît comme le carré de la distance, et que la force centrifuge, si la vitesse angulaire restait constante, croîtrait proportionnellement à cette distance, il faut nécessairement, pour l'équilibre des satellites, qu'ils tournent d'autant moins vite qu'ils sont plus loin. Dans leur rotation autour du Soleil, les planètes obéissent à cette même loi, qui n'est autre que la troisième loi de Képler qui dit que « le carré de la période de révolution est proportionnel au cube du grand axe ». Cette loi se vérifie aisément sur les satellites minuscules de notre voisine, la planète Mars. Le plus proche, Phobos, qui n'en est qu'à moins de 6 000 km, boucle son orbite en moins de 8 heures; le plus éloigné, Déimos, à 20 000 km, le fait en 30 heures.



Le calcul de la vitesse d'un satellite sur son orbite ne présente guère de difficultés. Il suffit d'écrire que la force centrifuge est égale à l'attraction de la Terre (1).

On sait qu'à l'équateur la pesanteur apparente, différence entre l'attraction terrestre et la force centrifuge, est plus petite qu'au pôle où celle-ci est nulle. A l'équateur, où la vitesse et le rayon terrestre sont respectivement d'environ 460 m/s et de 6 400 km, la force centrifuge est les 34/10 000 du poids. Les pendules les plus grossiers décèlent cette différence. Si la Terre tournait 17 fois plus vite, la force centrifuge à l'équateur deviendrait égale à l'attraction terrestre et la pesanteur apparente serait nulle. C'est une vitesse de cet ordre, un peu moins de 8 km/s, qu'il faudrait imprimer à des satellites que l'on voudrait maintenir sur une trajectoire circulaire aux confins de notre atmosphère. Plus ils s'éloignent, et plus les satellites peuvent entretenir leur mouvement avec une vitesse faible. Sur l'orbite de 24 heures, à 42 200 km du centre de la Terre, cette vitesse tombe à 3 km/s. A 384 000 km, distance de la Lune, il suffit de 1 km/s.

Perturbations de l'orbite

Dans ce qui précède, nous avons considéré que seuls la Terre et son satellite étaient en présence, et que l'orbite de ce dernier était circulaire et dans le plan équatorial. En réalité, nous avons affaire à un système

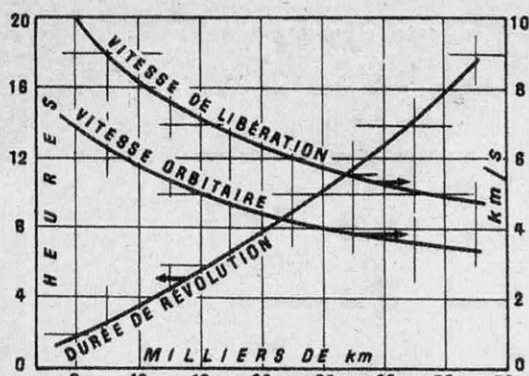
complexe comprenant, outre la Terre et son satellite artificiel, le Soleil, la Lune et les planètes; de plus, la moindre erreur dans le calcul de la vitesse orbitale, en grandeur et direction, donnera une orbite elliptique et non circulaire; en général, elle se déroulera dans un plan non confondu avec le plan équatorial.

De ce fait, l'orbite sera profondément perturbée et le calcul de ces perturbations est d'une complication si grande que nous ne ferons que les signaler. Les causes de perturbations seraient, dans l'ordre d'importance, le renflement équatorial de la Terre, le Soleil, la Lune et les planètes. On peut négliger l'action de ces dernières et aussi celle de la Lune, tout au moins tant que les périodes de révolution de la Lune et du satellite ne sont pas du même ordre de grandeur. Le renflement équatorial de la Terre n'aurait aucune action, évidemment, sur une trajectoire rigoureusement circulaire et dans le plan de symétrie équatoriale. Avec une orbite elliptique, il entraînerait une avance lente de la longitude de l'apogée et du périogée, et si l'orbite était inclinée, une régression des nœuds de cette orbite (points où elle coupe le plan équatorial). La période de cette régression serait assez courte pour les orbites rapprochées. Quant au Soleil, il exercera des effets analogues sur les orbites en dehors du plan de l'écliptique, mais de période plus longue.

Le choix de l'orbite

Pratiquement, l'orbite équatoriale est la plus facile à réaliser du point de vue propulsion, puisqu'on profite au maximum de la

(1) La vitesse orbitale est égale à $v = R \sqrt{\frac{g}{r}}$, R étant le rayon de la Terre et r la distance de son centre au satellite,



DURÉES DE RÉVOLUTION ET VITESSES ORBITALES des satellites en fonction de leur distance au centre de la Terre. Les vitesses de libération qui se trouvent portées également sur ce graphique et les vitesses orbitales restent entre elles dans un rapport constant.

rotation de la Terre autour de son axe qui fournit gratuitement une vitesse de 460 m/s. Mais elle ne présente qu'un intérêt restreint pour les observations scientifiques car le satellite défile toujours au-dessus de la même bande équatoriale.

Il est déjà beaucoup préférable de lui donner une orbite inclinée en la choisissant telle que la période de révolution combinée avec la rotation de la Terre lui permette d'explorer la totalité de la surface terrestre dans un temps raisonnable.

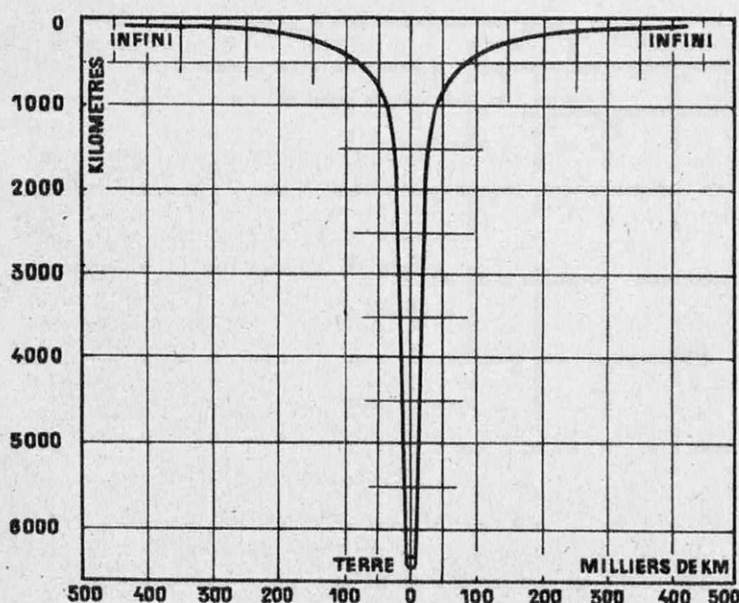
Les plans des orbites des Spoutniks russes sont inclinés à 65° sur l'équateur, de sorte qu'ils sont amenés à survoler pratiquement l'ensemble des terres habitées. L'orbite prévue par le projet Vanguard fait un angle de 40° seulement sur l'équateur, aussi le satellite ne dépassera-t-il pas les 90° de latitude nord et sud, il ne pourra être

aperçu, en Europe, qu'au Portugal, en Sicile, en Grèce et en Turquie. En admettant une période de révolution de 94 mn 10 s, la rotation de la Terre provoquera un déplacement de la trajectoire vers l'ouest de $23,5^\circ$ entre deux révolutions, soit quelque 2 600 km.

Du point de vue scientifique, l'orbite la plus avantageuse est une orbite polaire, c'est-à-dire dont le plan contient la ligne des pôles. Traversant quatre fois à chaque révolution la zone des aurores polaires, le satellite fournirait sur ces phénomènes des informations détaillées, enregistrerait les variations des divers rayonnements reçus par la Terre, en particulier le rayonnement cosmique, avec la latitude, fournirait un tableau complet des conditions ionosphériques et météorologiques sur l'ensemble du globe terrestre que sa rotation diurne lui ferait explorer par tranches, etc.

L'établissement du satellite

Pour établir le satellite sur son orbite, on peut envisager tout d'abord d'opérer en deux temps : amener l'engin à la distance de la Terre que l'on aura choisie,



« Puits » GRAVIFIQUE DE LA TERRE, gradué en kilomètres. Suivant une idée due à R.S. Richardson et A.C. Clarke, le puits de 6 378 km de profondeur aux parois écartées est celui qu'il faut gravir pour transporter une charge de la surface de la Terre à l'infini, la pesanteur restant constante et égale à sa valeur au niveau de la mer. Pour une charge de 1 t, le travail à effectuer est de 6 378 tonnes-kilomètres.

puis le lancer à la vitesse convenable pour qu'il suive une orbite circulaire.

Pour éloigner un corps de la Terre, il faut accomplir un certain travail qui s'évalue en faisant le produit de la force à vaincre par la distance parcourue. La force à vaincre est celle de la pesanteur, qui décroît constamment avec la distance au centre de la Terre, de sorte que le calcul ne peut s'effectuer par des procédés élémentaires et fait appel à ce que les mathématiciens appellent une « intégration ». Le résultat est particulièrement simple si l'on veut connaître le travail à effectuer pour transporter une charge de la surface de la Terre à l'infini : il est égal au produit du poids de la charge à la surface de la Terre par le rayon terrestre. Ainsi, pour une charge de 1 tonne, il faut effectuer un travail de 6 378 tonnes-kilomètres, ce qui équivaut, suivant une comparaison due à A. C. Clarke, à faire gravir à cette charge une montagne de 6 378 kilomètres de haut en supposant la pesanteur constante et égale à sa valeur au niveau de la mer.

Le travail nécessaire pour transporter une charge à une distance quelconque se calcule presque aussi aisément (1). On trouve, pour notre montagne imaginaire, une hauteur de 864 km pour amener un mobile à 1 000 km d'altitude, de 1 354 km pour l'amener à 1 720 km (orbite de 2 heures); de 5 415 km pour l'amener sur l'orbite de 24 heures (42 200 km au centre de la Terre) et de 6 272 km pour l'amener à la distance de la Lune.

(1) Il est donné pour une masse unité par la formule $gR^2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)$, R étant le rayon de la Terre et r la distance à son centre. Si r devient infini, on a gR.

Le « puits gravifique » de la Terre

Il est possible, suivant une idée due à R. S. Richardson et A. C. Clarke, de représenter le champ gravifique de la Terre d'une manière parlante par un graphique tel que celui page 122. Il figure un puits, profond de 6 378 km, aux parois escarpées dans le fond et qui vont en s'évasant largement. C'est ce puits qu'il faut gravir, et on peut le faire de deux manières : ou lentement, et il est évident qu'une grande partie de l'effort est dépensée en pure perte, servant non à monter, mais à s'empêcher de glisser vers le bas sur les parois escarpées (ce qui correspond à la « perte par gravité » des théoriciens de l'astronautique), ou prendre un grand élan pour parvenir au niveau désiré. Ceci veut dire qu'il faut communiquer au mobile une vitesse initiale telle que son énergie cinétique soit égale au travail à accomplir contre la pesanteur. Cette vitesse se calcule non moins facilement (1). Elle est de 4,112 km/s pour 1 000 km d'altitude, de 5,15 km/s pour l'orbite de 2 heures, de 10,3 km/s pour l'orbite de 24 heures, de 10,9 km/s pour l'orbite de la Lune, et de 11,18 km/s pour l'infini. Cette dernière vitesse est dite « vitesse de libération pour la Terre »; elle n'est autre que la vitesse avec laquelle un corps abandonné à l'infini avec une vitesse nulle, et tombant en chute libre, arriverait à sa surface.

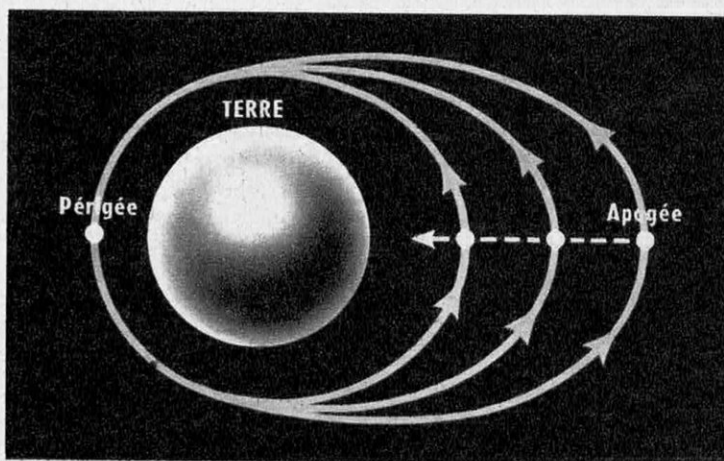
Ces chiffres sont évidemment théoriques et ne tiennent compte, entre autres, ni de la

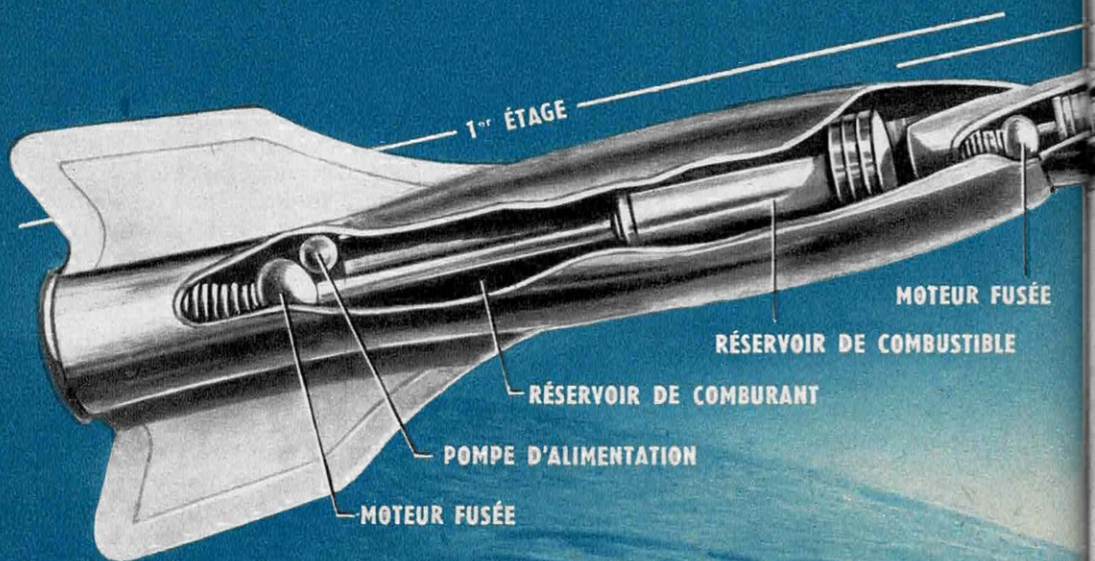
(1) Elle est donnée par la formule

$$v = R \left[2g \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

qui donne pour r infini $v = \sqrt{2 gR}$.

SUR UNE ORBITE ELLIPTIQUE dont le périhélie (point le plus proche de la Terre) est aux confins de l'atmosphère, un satellite est légèrement freiné dans cette région à chaque révolution par les vestiges de gaz raréfié qu'il rencontre. De ce fait, l'orbite change de forme peu à peu, l'apogée (point le plus éloigné) se rapproche de la Terre; l'orbite tend à devenir un cercle, et la durée de révolution diminue.





La fusée à trois étages du Spoutnik

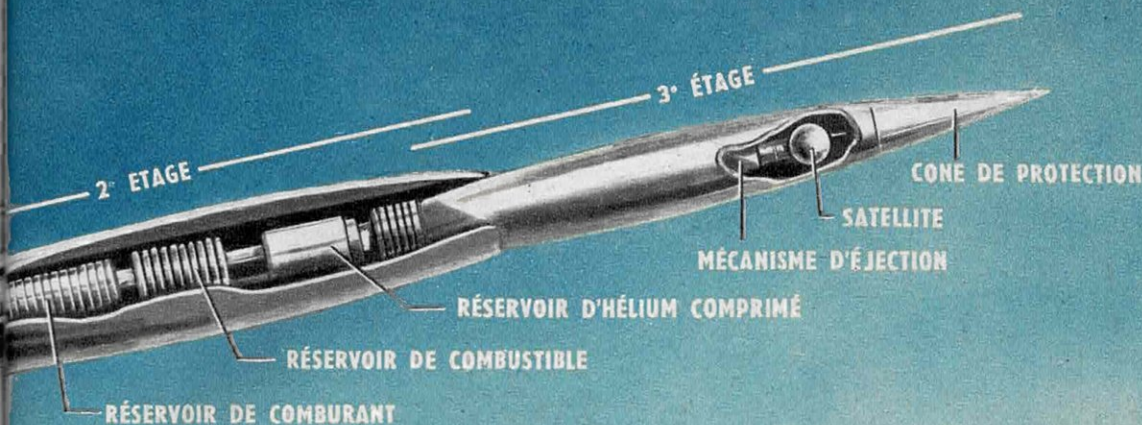
présence d'autres astres, ni de la rotation terrestre, ni surtout du fait que la Terre possède une atmosphère dense dans ses parties basses. Il serait impossible, en fait, de faire voler une fusée à une vitesse de plusieurs kilomètres par seconde à travers l'atmosphère. Elle doit traverser les couches inférieures à vitesse modérée et atteindre sa pleine vitesse seulement après s'être dégagée de l'atmosphère. Il en résulte, comme nous l'avons signalé plus haut, une « perte par gravité » qui oblige à majorer le chiffre prévu. Quoi qu'il en soit, nous ne retiendrons ici que les valeurs théoriques.

Notre engin ayant atteint l'altitude désirée, il suffit de lui imprimer la vitesse correspondante suivant une direction perpendiculaire à la droite qui le joint au centre. On évalue sans difficulté la dépense d'énergie totale, en faisant la somme des énergies cinétiques au départ de la Terre et sur l'orbite. On trouve que le satellite demande d'autant moins d'énergie au total pour son établissement qu'il est plus proche de la

Terre. L'énergie de libération à l'infini, en particulier, est sensiblement le double de l'énergie cinétique sur une orbite à très faible altitude. C'est la justification du satellite proche.

La vitesse « caractéristique »

Mais la propulsion des astronefs s'effectue exclusivement par fusées, et on a vu dans un chapitre précédent le rôle capital du rapport de masse, lié d'une part à la vitesse d'éjection des gaz et d'autre part à la vitesse finale atteinte lorsque tout le combustible est consommé. Aussi n'est-il pas surprenant que les astronautes accordent plus d'attention aux questions de vitesse qu'à celles d'énergie. Supposons que nous voulions établir une fusée sur une orbite à 250 km d'altitude. Il faudra lui donner une vitesse au départ de 2,4 km/s, en faisant fonctionner pendant un court instant ses propulseurs. Lorsqu'elle sera parvenue au terme de sa course, à 250 km d'altitude, on



d'après un hebdomadaire soviétique.

remettra en marche les propulseurs pour lui communiquer une nouvelle vitesse de 7,75 km/s, égale à la vitesse orbitale. Ainsi les propulseurs auront fourni au total 10,15 km/s. C'est ce qu'on appelle la *vitesse caractéristique* pour le parcours Terre-orbite à 250 km. Cette notion se généralise aisément, ainsi qu'on le verra par la suite, et on peut définir la vitesse caractéristique comme la somme des changements de vitesse que l'on doit opérer au cours d'un trajet. Si, par exemple, la fusée, après être restée quelque temps sur l'orbite, et elle pourrait y rester indéfiniment sans dépense d'énergie, doit revenir sur la Terre, la vitesse caractéristique double. Il faut en effet annuler d'abord la vitesse orbitale pour se mettre en chute libre, puis freiner près de la surface terrestre pour annuler la vitesse de chute qui serait précisément égale à 2,4 km/s, si l'on néglige la présence de l'atmosphère. Au total les propulseurs fourniraient à nouveau 10,15 km/s, d'où 20,30 km/s, pour le voyage aller et retour.

Les théoriciens de l'astronautique ont cherché les moyens de réduire les exigences en vitesse caractéristique des voyages sur les orbites circulaires de grand rayon. Une des méthodes les plus séduisantes, théoriquement, est celle que l'on pourrait appeler « méthode des orbites bitangentes » ou encore des « ellipses de transfert ».

Les ellipses du transfert

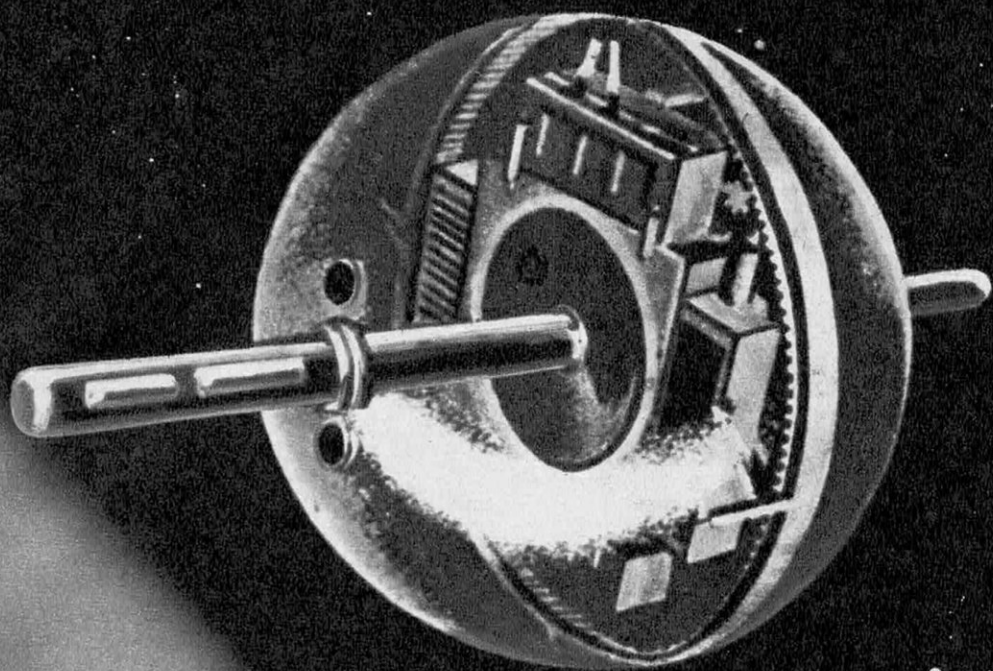
L'idée générale est de faire décrire au véhicule une ellipse dont le périhélie (point le plus voisin du centre de la Terre, qui constitue un des foyers) serait situé au voisinage de la surface et dont l'apogée (point le plus éloigné) se placerait sur l'orbite visée. Cette ellipse serait ainsi tangente à un cercle à faible altitude et à l'orbite.

Le processus, très schématisé, serait ainsi le suivant : la fusée décolle verticalement, de manière à traverser le plus rapidement possible l'atmosphère, et incline progressivement sa trajectoire pour accélérer dans

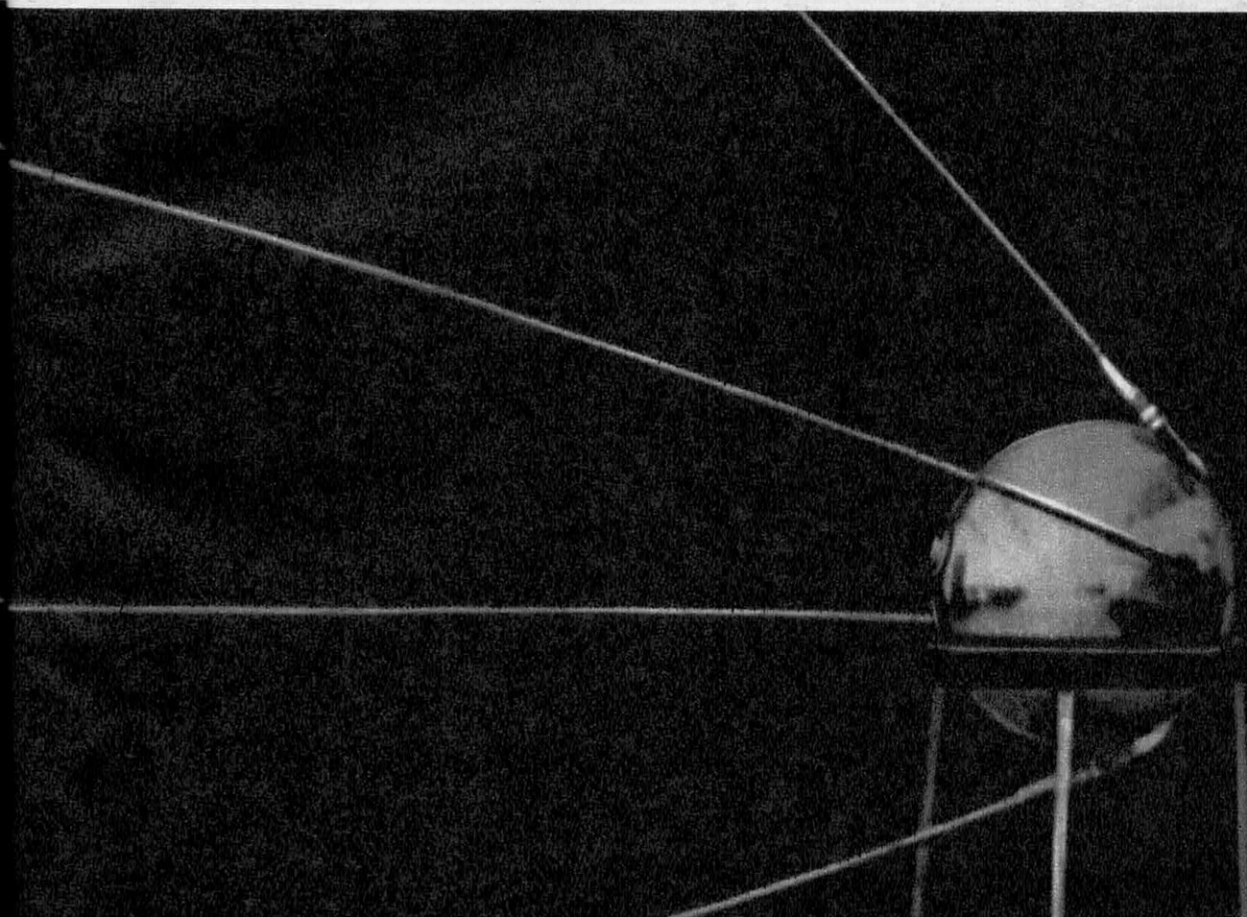


Le premier satellite soviétique

Lancé le 4 octobre 1957, le satellite soviétique n'a pu être photographié aux États-Unis que le 8 alors qu'il passait à 5 heures du matin au-dessus de l'Alaska. On voit à gauche le cliché pris par les spécialistes de l'Air Force américaine à la base d'Elmendorf. Très peu d'informations officielles ont été données sur la conformation du « Spoutnik » dont on a dit seulement qu'il était sphérique et pesait 83,6 kg. On voit à droite deux de ses représentations sans doute loin de la réalité, surtout la première, publiée par le magazine Ogoniok; la seconde est la photo d'un modèle qui fut exposé à Moscou.



Une version fantaisiste du Spoutnik, et une plus plausible.





une direction presque horizontale; la perte par gravité serait ainsi réduite au minimum (les éléments d'une telle trajectoire « synergique » ont été définis par Oberth). Lorsque la vitesse correspondant au périégée de l'ellipse de transfert est atteinte, le propulseur cesse son action et l'engin parcourt en vol libre, c'est-à-dire soumis uniquement à l'attraction terrestre, une demi-ellipse. Il parvient à l'apogée avec une vitesse réduite et il suffit à ce moment de remettre les propulseurs en marche pour lui communiquer le complément de vitesse nécessaire pour l'établir définitivement sur l'orbite.

Pour le voyage de retour, on pourra utilement opérer en sens inverse, c'est-à-dire qu'on exercera pendant un temps court une poussée en sens inverse de la vitesse orbitale, ce qui aura pour effet de mettre l'engin sur une trajectoire elliptique de transfert qu'il parcourra librement et qui le rapprochera de la Terre.

On pourra alors, parvenu au périégée de l'ellipse, soit freiner de nouveau par fusées, soit, si la trajectoire a été calculée de manière à ce qu'on ait atteint l'atmosphère, compter sur le freinage aérodynamique, ce qui économise considérablement sur la vitesse caractéristique totale, puisqu'on n'a plus à remettre les propulseurs en action.

D'ailleurs, lorsqu'un satellite a été établi sur une orbite elliptique dont le périégée est suffisamment proche de la surface de la Terre pour que le freinage atmosphérique n'y soit pas négligeable, il ne peut que retomber au bout d'un temps plus ou moins long. Peu à peu l'orbite se déforme et d'elliptique devient circulaire, à la distance du périégée primitif. Le satellite s'engage alors sur une spirale qui le ramène rapidement au sol, ou du moins ce qu'il en reste après que le frottement à travers l'atmosphère dense l'a porté à l'incandescence.

Le retour à la Terre

A. T. Neuweiler a poussé assez loin l'étude du freinage par l'atmosphère et a recherché ce qu'on pourrait attendre d'un dernier étage de fusée fonctionnant en planeur supersonique. Il suppose une voilure en acier inoxydable pouvant résister à 1 300 °C, organisée pour transmettre la chaleur des points les plus chauds — l'intrados de l'aile au voisinage du bord d'attaque — au reste de la surface qui l'évacuerait par radiation ou convection. Il conclut à la nécessité d'une charge alaire relativement faible, ne dépassant guère 30 kg/cm², donc à une voilure assez lourde,

Un passage du « Grand Spoutnik »

représentant 75 % du poids du planeur chargé. La durée du voyage de retour, beaucoup plus longue que celle de l'aller, ne dépasserait guère 3 heures, au cours desquelles le planeur ferait deux fois le tour de la Terre.

Peut-être trouvera-t-on que ce sont là de grosses complications pour le voyage de retour et que le rendement de ce planeur, qu'il faudrait éventuellement construire sur le satellite avec des matériaux expédiés de la Terre, n'est pas élevé. Mais le retour avec freinage par fusée à plusieurs étages consommant sensiblement le même pourcentage de la masse totale en réservoirs et en combustible qu'à l'aller serait d'un rendement encore moindre.

Le problème du retour à la Terre a fait l'objet de nombreuses recherches au cours de ces dernières années à l'occasion de la mise au point des projectiles intercontinentaux qui, après avoir parcouru une grande partie de leur trajectoire balistique à très haute altitude, retombent à très grande vitesse dans les couches denses de l'atmosphère. Les techniciens américains, d'après les déclarations du Président Eisenhower, seraient proches de la solution. On cite le cas d'une fusée à étages X-17 qui serait retombée dans l'atmosphère à Mach 14, soit à quelque 17 000 km/h, et dont le « cône » aurait parfaitement supporté l'échauffement. Une autre expérience faite avec une fusée Jupiter C composite (fusée Redstone pour le premier étage et fusées « Recruit » pour les autres) remonte déjà à août 1956; le dernier étage est monté à 1 920 km d'altitude

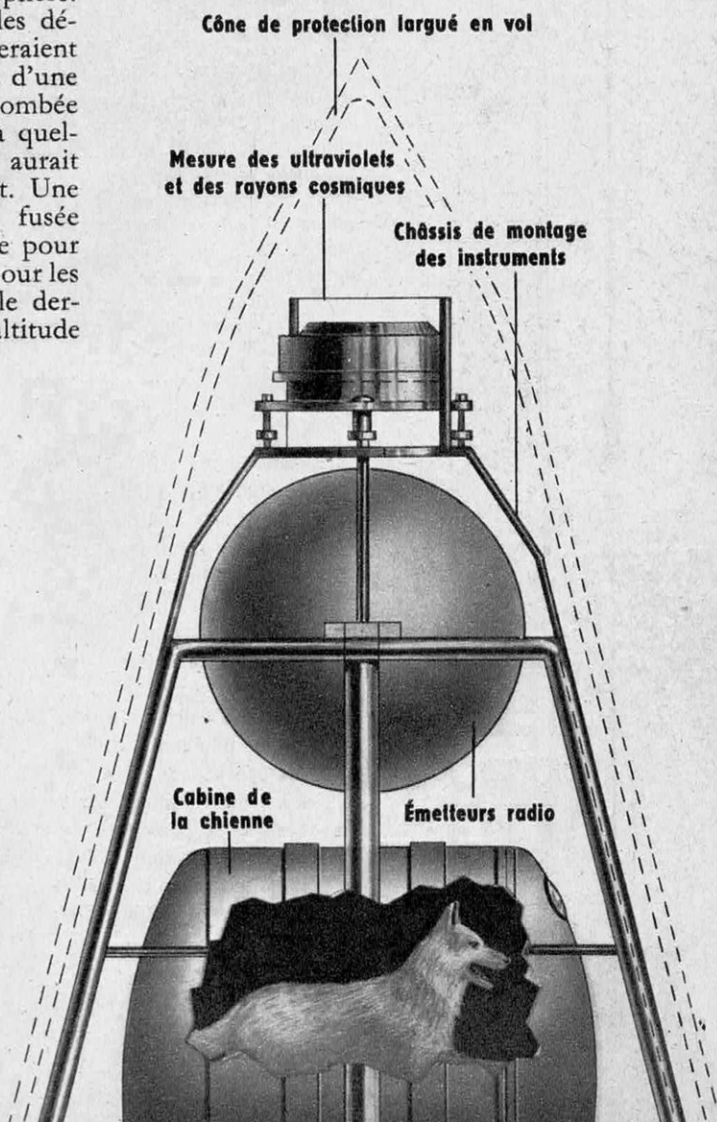
et le « cône », une fois séparé, fut récupéré dans l'océan sans que les émetteurs qui l'équipaient aient souffert de la chaleur.

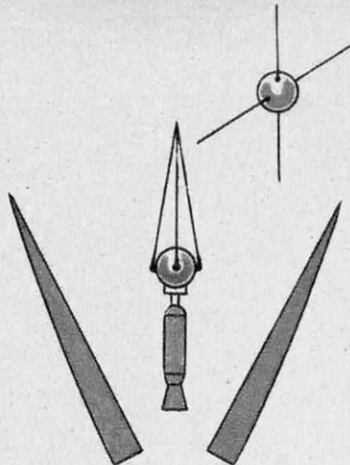
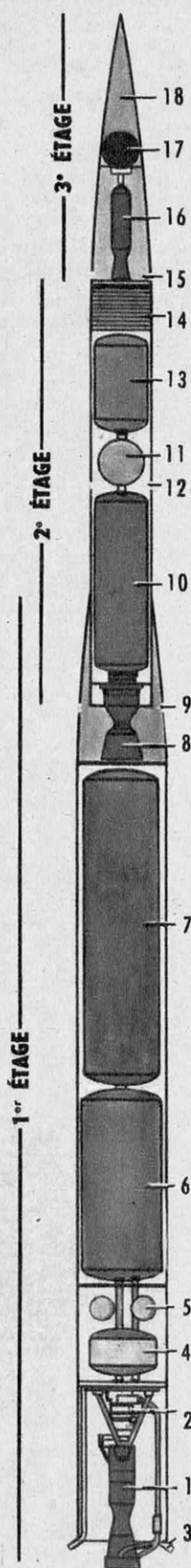
Le premier « Spoutnik »

C'est le 4 octobre 1957, vers minuit (temps de Moscou) que fut lancé avec succès le premier satellite artificiel, le « Spoutnik » (qui veut dire en russe, « compagnon de voyage »). L'exploit ne fut annoncé par la radio de Moscou que le 5 octobre sans qu'aucune précision fût donnée quant à la position du site d'où avait eu lieu le lancement. On s'accorde généralement pour le placer au voisinage de la Mer Caspienne, sur la base où s'effectuent les essais des engins balistiques russes à longue portée. L'existence du satellite surprit totalement les savants du reste du monde qui ne purent suivre sa course pendant les premiers jours que grâce aux signaux hertziens qu'il émettait. Encore ces derniers étaient-ils

Le « Grand Spoutnik »

Ce dessin des aménagements de la partie avant du « Grand Spoutnik » a été établi d'après des documents publiés par la Pravda le 13 novembre, dix jours après le lancement du second satellite soviétique, et trois jours après l'annonce officielle de la mort de la chienne Laïka logée dans la cabine conditionnée. Cette mort semble avoir coïncidé avec l'épuisement des batteries d'accumulateurs servant à alimenter les émetteurs installés dans la sphère d'aluminium.

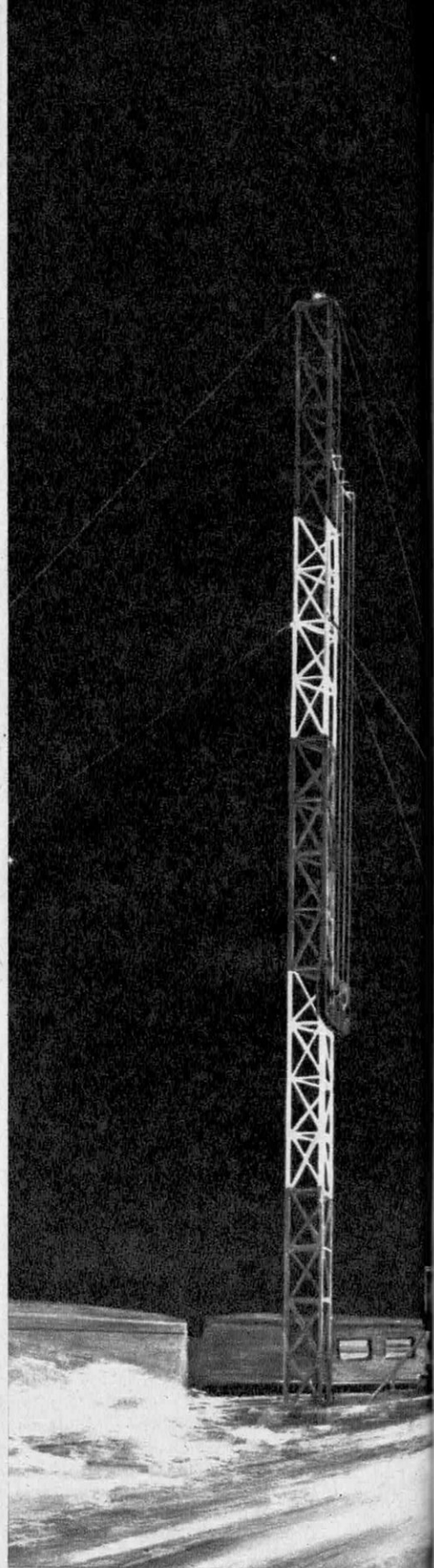


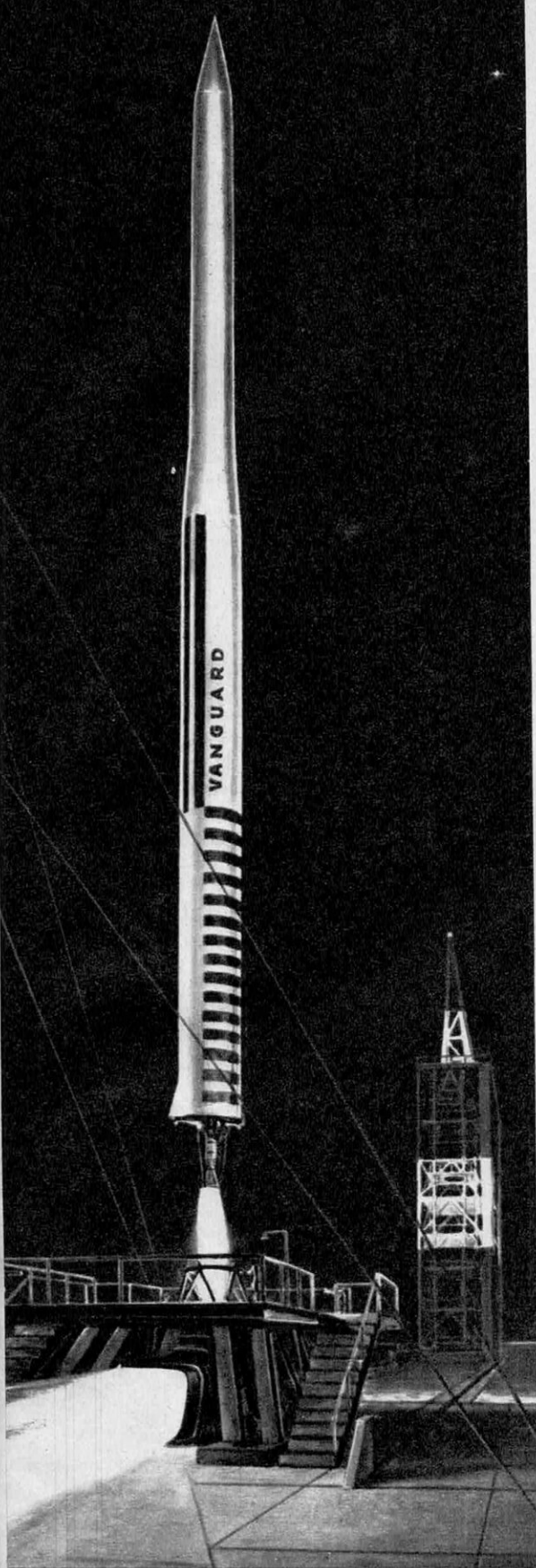


La fusée Vanguard

La fusée de lancement du « Vanguard » mesure 21,6 m de long et place finalement sur l'orbite une sphère de magnésium de 50 cm de diamètre. On voit à gauche la disposition de ses propulseurs et ci-dessus, en particulier, les éléments du troisième étage. Les deux moitiés du cône de protection sont abandonnées pendant le fonctionnement du deuxième étage et le satellite est enfin libéré après épuisement du combustible de la dernière fusée.

- 1 - Moteur-fusée Général-Electric X 405
- 2 - Pompes d'alimentation.
- 3 - Ajustages de roulis.
- 4 - Réservoir d'eau oxygénée.
- 5 - Sphères d'hélium.
- 6 - Réservoir de carburant.
- 7 - Réservoir d'oxygène liquide.
- 8 - Moteur-fusée Aérojet-Général.
- 9 - Ajustages de guidage.
- 10 - Réservoir d'acide nitrique fumant.
- 11 - Sphère d'hélium.
- 12 - Ajustages de roulis.
- 13 - Réservoir de diméthylhydrazine.
- 14 - Système de guidage.
- 15 - Dispositif mettant le troisième étage en rotation.
- 16 - Moteur-fusée à combustible solide.
- 17 - Satellite.
- 18 - Cône.





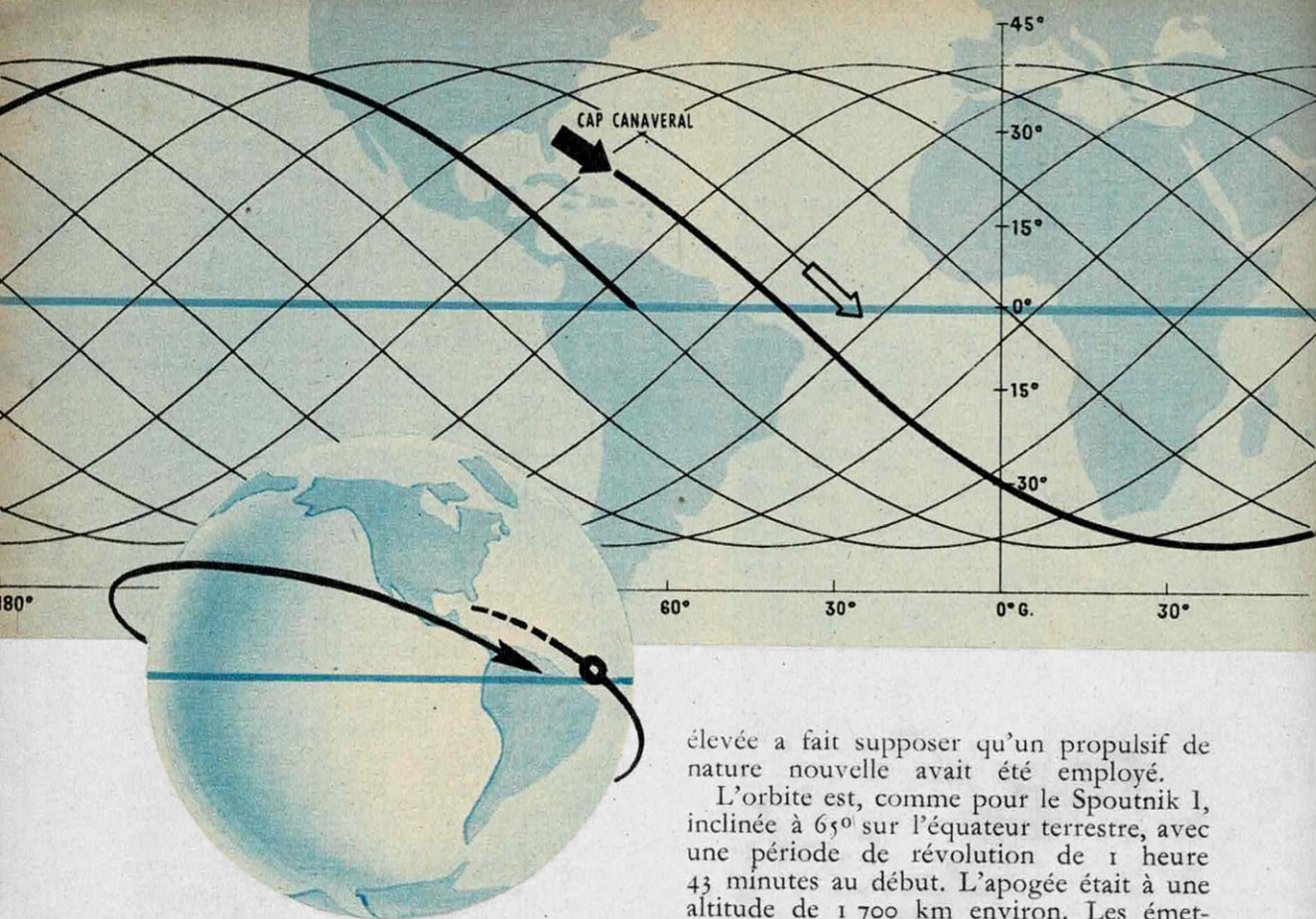
reçus sur 20,005 et 40,002 mégacycles (longueur d'onde 15 m et 7,5 m), alors que tous les dispositifs de réception destinés à capter les émissions des satellites américains annoncés pour l'Année Géophysique Internationale, étaient prévues pour 108 mégacycles. De ce fait, il fallut près d'une semaine avant que l'orbite pût être déterminée avec quelque précision.

Les informations d'origine russe sont demeurées très vagues. On doit admettre que le satellite consiste en une sphère en alliage d'aluminium (la sphère américaine doit être en magnésium), de 58 cm de diamètre et pesant 83,6 kg. Elle aurait été placée sur l'orbite par une fusée à trois étages d'une puissance non précisée; les experts ont estimé son poids au départ entre 70 et 150 tonnes (le poids au départ de la fusée Vanguard sera de 10 t environ pour un satellite d'un peu plus de 9,5 kg). Le troisième étage de la fusée et le cône avant détachés de la sphère constituaient eux aussi des satellites parcourant une orbite voisine.

La sphère, munie de quatre antennes de 2,40 m et 2,90 m de long contenait deux émetteurs radio de 1 watt placés dans une atmosphère d'azote et émettant alternativement sur les longueurs d'onde indiquées plus haut pendant chacun 0,3 s. Il semble que la masse du satellite ait été représentée surtout par les batteries d'alimentation des émetteurs, et l'on s'est demandé longtemps s'il emportait ou non des instruments de mesure, les émissions paraissant codées; si l'on en croit les Russes, il s'agissait de mesures de température. Les signaux ont cessé d'être perçus le 26 octobre, probablement par suite de l'épuisement des batteries.

L'orbite du « Spoutnik »

L'orbite du « Spoutnik » est inclinée de 65° sur l'équateur. La durée de révolution était à l'origine de 96,02 minutes, la vitesse moyenne de l'ordre de 28 000 km/h et l'altitude maximum de quelque 960 km; l'altitude minimum, le périégée de l'orbite elliptique, fut assez difficile à déterminer et les premières estimations variaient entre 240 et 640 km. Peu à peu, cependant, les données se précisèrent. Au 15 octobre, l'apogée se trouvait à 896 km de la surface de la Terre et le périégée à 227 km. La période de révolution était de 95 mn 48,5 s et décroissait d'environ 2,28 s par jour. Nous avons vu plus haut que la présence d'une atmosphère résiduelle se faisant sentir surtout au périégée a pour effet principal



de réduire progressivement la longueur du grand axe, l'ellipse se transformant peu à peu en cercle. En même temps la période de révolution décroît, ce que l'on a observé effectivement, et la mesure de cette décroissance permet d'évaluer la densité de l'atmosphère à l'altitude du périégée.

Quant au dernier étage de la fusée de lancement, on a trouvé pour lui une période de révolution de 95 mn 32 s le 11 octobre, avec une diminution de 4,13 s par jour; le grand axe de son orbite perdait 3,4 km par jour. La chute de ce dernier étage, précédant celle du Spoutnik, a dû avoir lieu le 1^{er} décembre.

Le Spoutnik II

Le second satellite russe a été lancé le 3 novembre, emportant avec lui, comme l'on sait, une chienne vivante, Laïka. Cette fois il était constitué par tout le dernier étage de la fusée de lancement dont seulement le cône protégeant les instruments pendant la traversée de la basse atmosphère avait été largué au cours de la montée.

Le Spoutnik II ou Grand Spoutnik pèse 504 kg et cette masse anormalement

élevée a fait supposer qu'un propulsif de nature nouvelle avait été employé.

L'orbite est, comme pour le Spoutnik I, inclinée à 65° sur l'équateur terrestre, avec une période de révolution de 1 heure 43 minutes au début. L'apogée était à une altitude de 1 700 km environ. Les émetteurs fonctionnaient sur les mêmes longueurs d'onde de 20,005 et 40,002 mégacycles, mais l'émission était plus complexe car elle transmettait au sol les résultats de mesures diverses.

Les batteries de Spoutnik II se sont épuisées rapidement et toutes émissions ont cessé au bout d'une semaine. A ce moment, le satellite avait effectué 103 révolutions. L'apogée de son ellipse avait décliné de 48 km et la période diminuait de 2,3 secondes par jour.

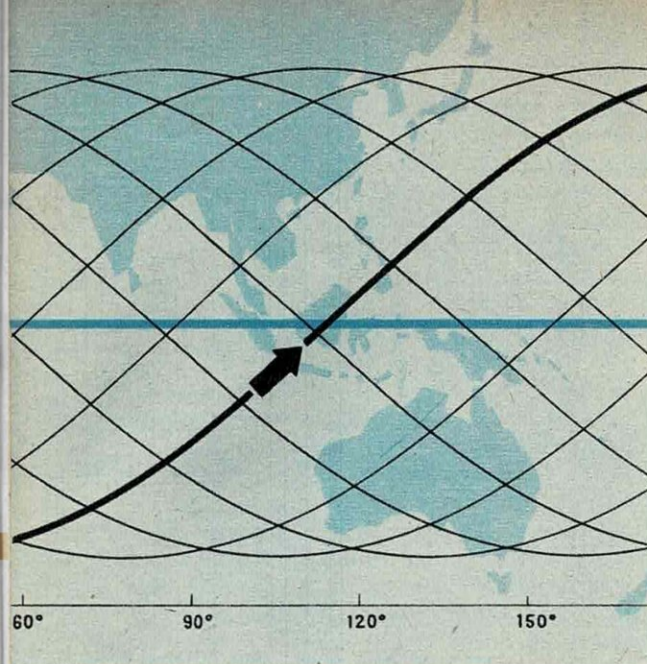
Le 11 décembre, le professeur Sergueïeff a annoncé le lancement prochain d'un satellite dont la masse serait de l'ordre de 1 à 2 tonnes.

Projet Vanguard

Le projet américain de lancement de satellites artificiels en liaison avec l'Année Géophysique Internationale, baptisé « pro-

TRAJECTOIRE DU « VANGUARD » ►

On a indiqué, sur ce dessin de la trajectoire de lancement du satellite Vanguard, les positions des trois étages lors de la mise en action et de l'arrêt de leurs moteurs-fusées. La vitesse finale de 7 500 m/s est atteinte vers 400 km d'altitude, à 2 400 km du site de lancement et au bout d'une dizaine de minutes.



◀ LA ROUTE DU « VANGUARD »

L'orbite étant inclinée de 40° sur l'équateur, il ne survole que les régions entre 40° nord et 40° sud. Du fait de la rotation de la Terre, l'orbite se décale à chaque révolution de 2 600 km environ vers l'ouest; c'est ce qui explique qu'en un même point on puisse le voir venir tantôt du nord-ouest et tantôt du sud-ouest.

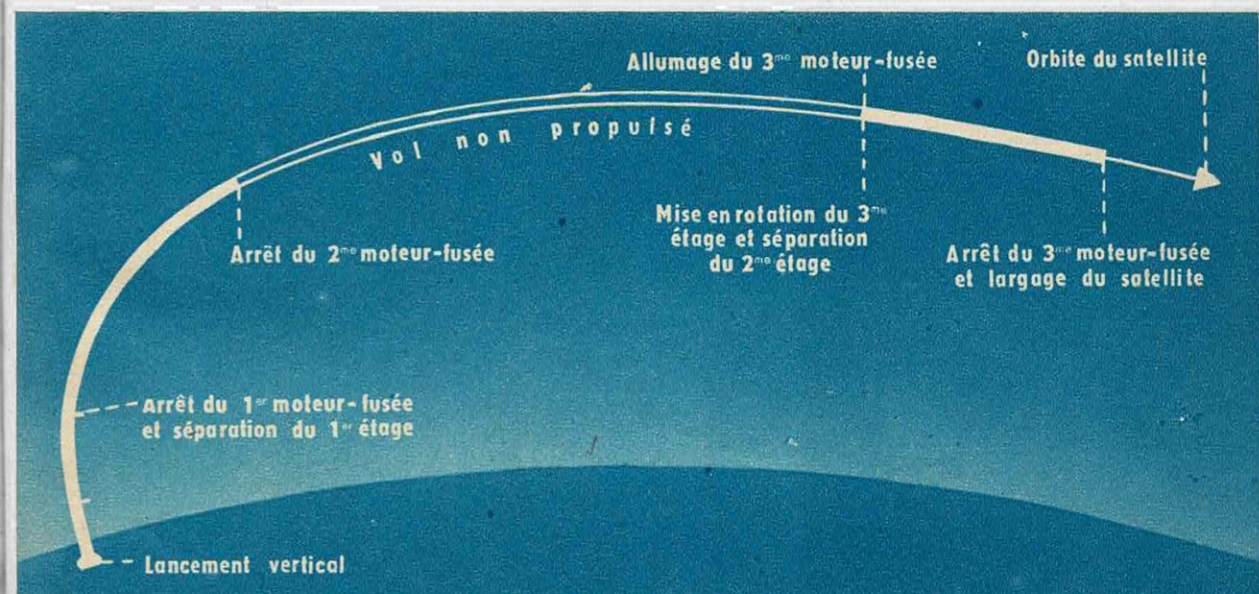
jet Vanguard», doit officiellement comporter six tentatives sur lesquelles on espère que quatre au moins réussiront.

Il s'agit essentiellement de placer une sphère équipée d'instruments divers sur une orbite à une altitude nominale de 480 km, c'est-à-dire sur une ellipse dont le périhélie (point le plus proche de la Terre) ne serait pas à moins de 320 km et l'apogée (point le plus éloigné de la Terre) à plus de 2 200 km d'altitude, dans un plan incliné de 40° environ sur l'équateur terrestre. La période de révolution sera de l'ordre de

100 minutes. Les lancements doivent avoir lieu sur la base de l'Air Force, à Patrick, en Floride. La sphère doit avoir 50 cm de diamètre et peser 9,675 kg.

La fusée Vanguard mesure 21,6 m de long et pèse un peu plus de 10 tonnes.

Le moteur-fusée du premier étage est le General Electric X-405 à kérosène et oxygène liquide avec pompes d'alimentation entraînées par turbine actionnée par de la vapeur à haute température provenant de la décomposition catalytique d'eau oxygénée très concentrée. Le guidage sur la trajectoire est obtenu en faisant varier hydrauliquement, dans des limites d'ailleurs assez faibles (5° au maximum), la direction suivant laquelle le moteur monté à la cardan exerce sa poussée. Les mouvements de roulis sont corrigés en agissant sur la direction de l'échappement de la turbine d'alimentation qui s'effectue par des ajutages orientables sur les parois latérales de l'engin. Les corrections sont commandées par le système de guidage par inertie logé dans le second étage. La fusée du premier étage, qui développe une poussée



au sol de 12 tonnes et fonctionne pendant 150 secondes, fournit ainsi 65 % de l'énergie nécessaire pour porter le dernier étage à l'altitude de l'orbite et 15 % de la vitesse orbitale horizontale.

Le second étage utilise du diméthylhydrazine dissymétrique et de l'acide nitrique fumant envoyés directement de leurs réservoirs à la chambre de combustion par de l'hélium sous pression. Le mélange est « hypergolique », c'est-à-dire qu'aucun allumage n'est nécessaire, combustible et comburant réagissant spontanément dès qu'ils sont en présence. Le moteur est orientable comme celui du premier étage pour le guidage sur la trajectoire; de petits ajustages sont prévus pour corriger le roulis pendant la phase de propulsion par éjection de gaz propane. Après arrêt du moteur-fusée et pendant que l'engin poursuit sa lancée jusqu'à ce que le troisième étage entre en action, c'est l'hélium résiduel qui est éjecté par des ajustages convenables pour maintenir l'orientation voulue dans les trois axes. Toutes les corrections sont commandées par le système à programme logé dans le second étage, qui assure l'inclinaison progressive de l'axe de l'engin vers l'horizontale. On trouve également dans le second étage le dispositif qui, en fin de course, met le troisième étage en rotation rapide. L'ensemble des deux derniers étages pèse environ 2 160 kg; le deuxième étage qui développe une poussée de 3 375 kg pendant 120 secondes, fournit le complément d'énergie pour atteindre l'orbite et 32 % environ de la vitesse orbitale.

Le troisième étage pèse au total 225 kg et constitue une fusée non guidée, stabilisée par rotation (150 tours par minute) de manière que son axe longitudinal demeure sensiblement parallèle à la surface de la Terre. Son moteur à combustible solide développe 1 058 kg de poussée pendant 30 secondes et fournit 50 % de la vitesse orbitale (si l'on additionne les chiffres précédents relatifs à la vitesse orbitale, on trouve qu'il manque 3 %; ils ont été fournis au départ par la rotation de la Terre).

Le satellite « Vanguard »

Le satellite proprement dit est éjecté finalement par le troisième étage avec une vitesse relative d'environ 1 m par seconde et ses antennes se déploient. Ainsi s'éloigne-t-il progressivement du troisième étage qui l'a libéré et qui continue, pour son propre compte, à tourner lui aussi autour de la Terre comme un satellite.

Pour donner une idée de la difficulté de l'entreprise, précisons que l'erreur angulaire lors de la séparation du troisième étage ne doit pas dépasser 2,5 degrés, et celle sur la vitesse finale 550 km/h (sur 27 000 km/h environ), sinon l'altitude minimum (péri-gée) risquerait d'être si près de la Terre que la traînée dans l'atmosphère réduirait considérablement la « vie » du satellite.

On trouvera page 137 un croquis de l'aménagement intérieur du satellite Vanguard.

La sphère est en magnésium presque pur aussi parfaitement polie que possible pour faciliter l'observation visuelle; la monture intérieure qui porte les instruments est en tubes de magnésium et en matière plastique à faible conductibilité thermique.

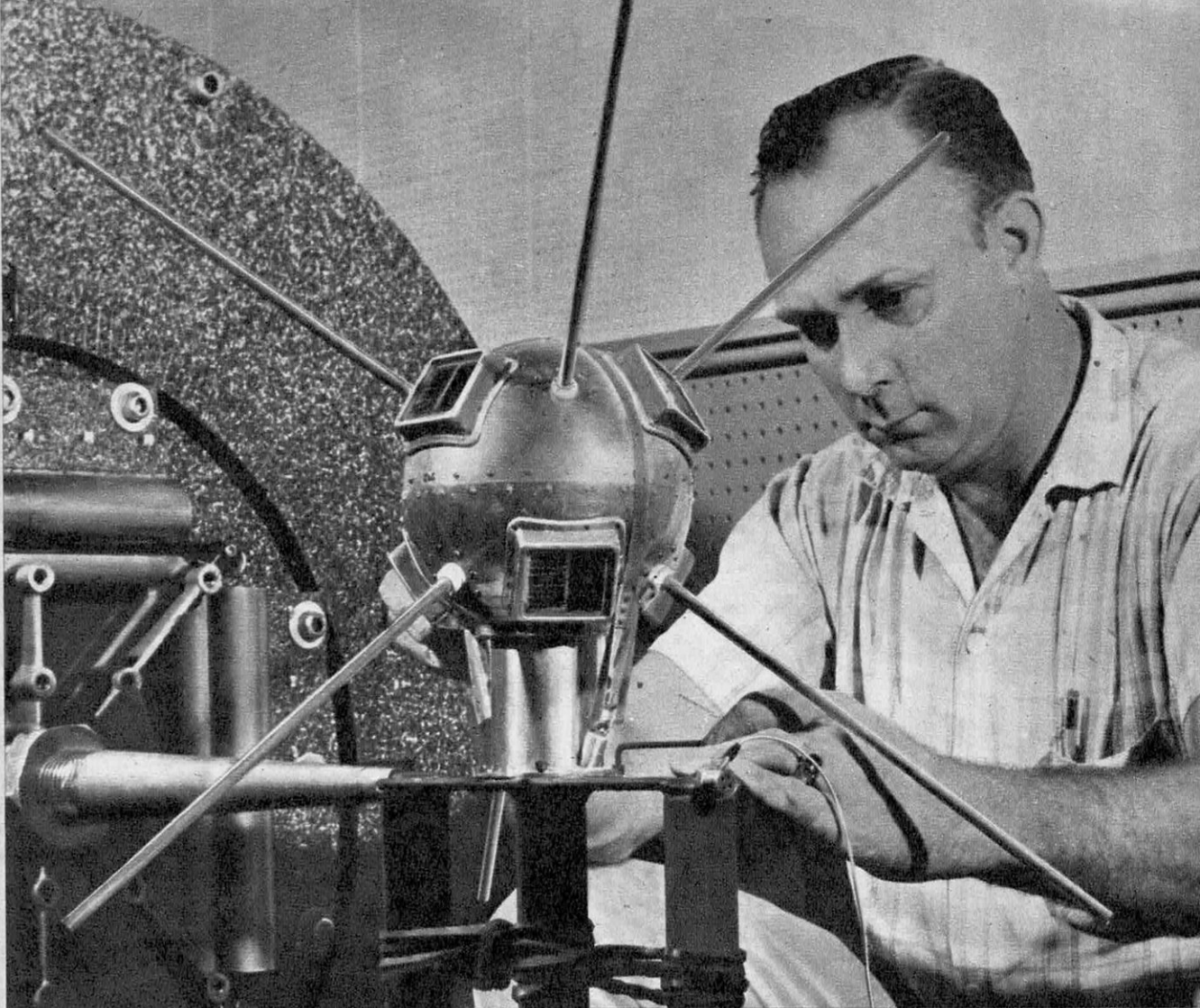
Les antennes mesurent 70 cm. Deux émetteurs miniatures sont prévus. L'un doit émettre un faible signal continu pour permettre son repérage par triangulation. L'autre doit, lorsqu'il est sollicité par une station d'observation, émettre à plus forte puissance et pendant 20 secondes les résultats de mesures effectuées au cours de son périple et stockées dans ses « mémoires ». Des batteries légères au mercure doivent assurer l'alimentation des instruments et des émetteurs pendant deux semaines.

Le lancement du satellite de 50 cm de diamètre sera précédé de lancements d'essais de satellites réduits, de 16 cm de diamètre et pesant moins de 2 kg. Ils seront en magnésium et porteront des antennes et des émetteurs radio. On envisage de les équiper de batteries solaires. Peut-être ne dépasseront-ils pas les limites de la haute atmosphère et alors leur vie sera brève, ce qui ne présente pas d'inconvénient car ils ne seront pas équipés pour les télémesures et doivent servir uniquement à vérifier le fonctionnement des dispositifs de guidage des fusées et celui du réseau de stations réceptrices au sol. Un essai de lancement a eu lieu le 6 décembre et s'est soldé par un échec.

Le Jupiter C

Le premier lancement des satellites Vanguard a été prévu dès l'origine pour le premier trimestre de 1958, et aura lieu probablement en mars. Il ne semble pas que le délai puisse être raccourci. Les succès obtenus par l'U.R.S.S. ont amené les dirigeants américains à établir un programme complémentaire de lancements qui a été annoncé le 8 novembre dernier par le Secrétaire à la Défense.

L'Armée américaine a en effet mis au



CE SATELLITE MINIATURE de seulement 16 cm de diamètre précédera autour de la Terre le « Vanguard » de 50 cm. Il pèse moins de 2 kg et ne contient

que des émetteurs radio. Les fenêtres rectangulaires que l'on aperçoit représentent des batteries photo-électriques expérimentales captant l'énergie solaire.

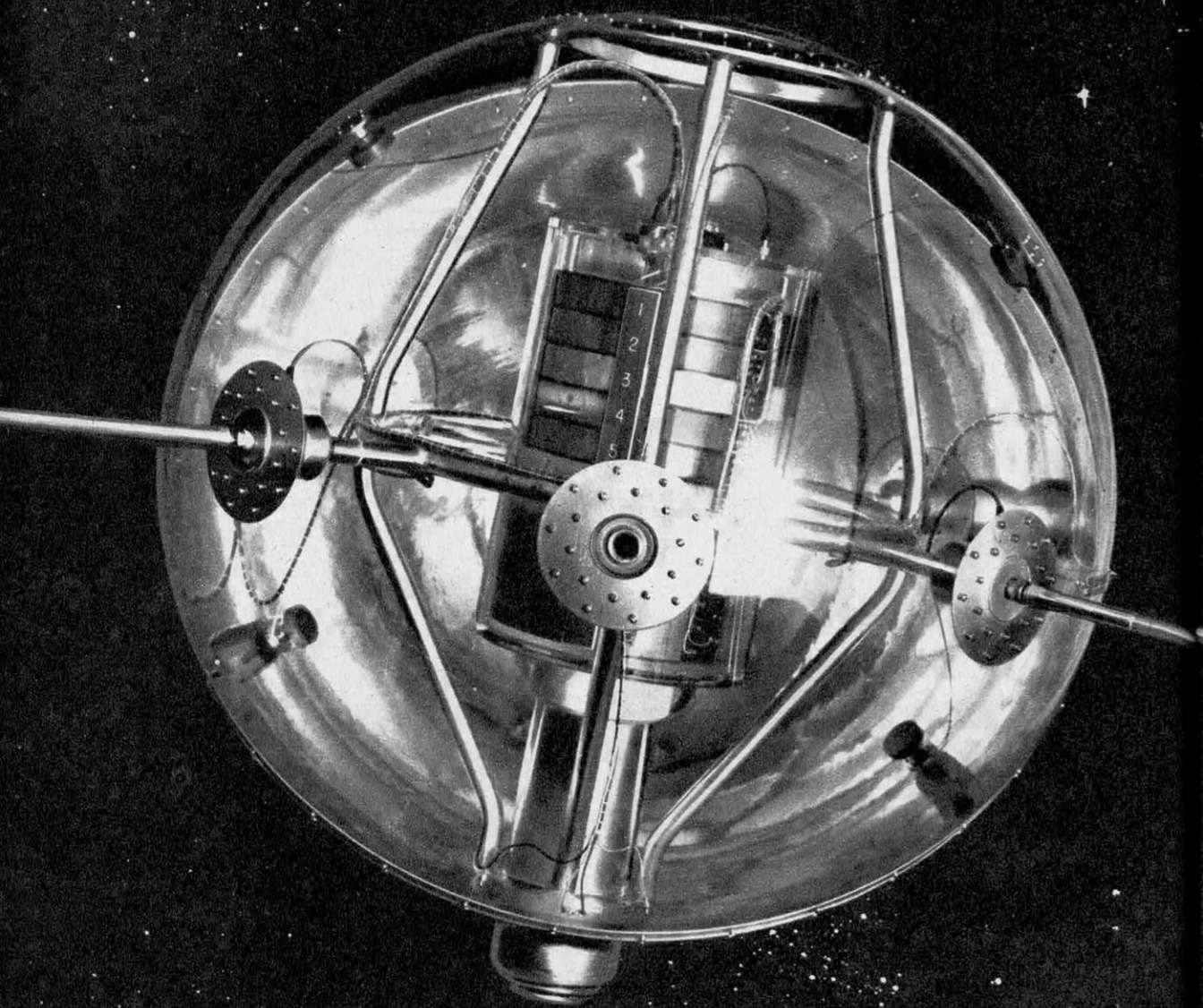
point une fusée expérimentale, le Jupiter C, destinée à l'étude des engins balistiques de portée « intermédiaire » et dont le fonctionnement s'est montré très satisfaisant. Il y a déjà plus d'un an, en septembre 1956, que le dernier étage d'un Jupiter C a dépassé l'altitude de 1 000 km et une portée de 5 600 km.

Le Jupiter C est un engin à plusieurs étages, dont le premier est constitué par une fusée Redstone à oxygène liquide et alcool, comme la V2, construite sous la direction de Wernher von Braun à l'arsenal de Redstone à Huntsville, dans l'Alabama. Elle a 19 m de long et 1,50 m de diamètre et son propulseur fournira une poussée de l'ordre de 35 tonnes. Les autres étages étaient for-

més jusqu'ici de faisceaux de fusées de modèles divers.

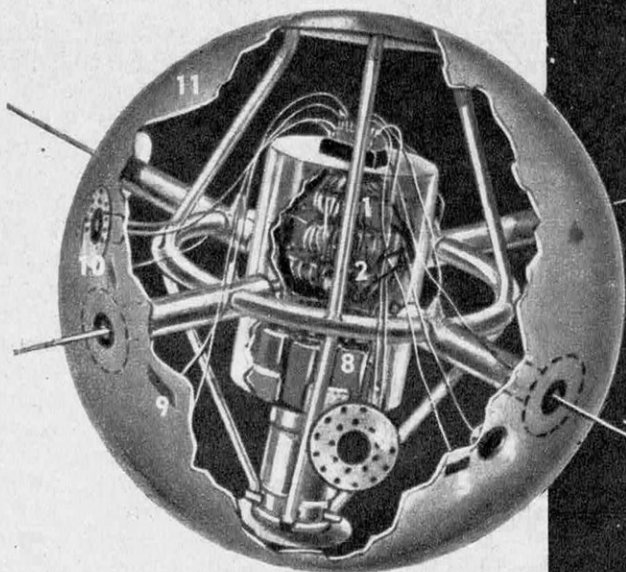
C'est une version modifiée du Jupiter C qui lancera, probablement fin décembre, le premier satellite artificiel américain, de forme sans doute cylindrique et non sphérique. On a indiqué, sans que cela ait été confirmé, qu'il s'agirait d'un engin à quatre étages, dont les trois derniers étages seraient constitués par des fusées « Recruit » à poudre, associées pour former des faisceaux de 11 fusées pour le deuxième étage et de 3 fusées pour le troisième, le quatrième étant une fusée unique emportant instruments de mesure et émetteurs.

Charles LESSAC



LE SATELLITE "VANGUARD"

- 1 Émetteur radio « Minitrack »
- 2 Calculatrice miniature et mémoire préparant l'émission
- 3 Antennes déployées quand la sphère approche de l'orbite
- 4 Microphone ultrasensible pour détection de l'impact des poussières météoriques
- 5 Mesure de la température entre -140 et $+150^{\circ}\text{C}$
- 6 Cellule photoélectrique
- 7 Enveloppe isolante recouverte d'or
- 8 Batteries d'accumulateurs au mercure, pouvant durer deux semaines
- 9 Ruban métallique pour mesure de l'érosion par les poussières météoriques
- 10 Mesure du rayonnement ultraviolet
- 11 Enveloppe métallique polie de grand pouvoir réflecteur



LES APPLICATIONS DU SATELLITE

Si peu de précisions officielles ont été données sur les mesures que les savants soviétiques comptent demander aux successeurs du « Spoutnik », on est beaucoup mieux renseigné sur le programme américain qui sera mis en œuvre avec le « Vanguard ». Une trentaine de propositions de mesures ont été présentées, au début de 1956, au colloque d'Ann Harbor (Michigan) auquel participaient de nombreux savants américains spécialisés dans les recherches par fusée sur la haute atmosphère.

Une dizaine ont été retenues, auxquelles on a affecté un ordre d'urgence, car les six lancements prévus ne réussiront certainement pas tous à placer un satellite sur une orbite durable.

Les mesures de « l'environnement » du satellite (pression, température, direction des micrométéorites incidentes, intensité des radiations ultraviolettes...) ont été confiées au Naval Research Laboratory de la marine américaine; les Ballistic Research Laboratories d'Aberdeen se chargeront des mesures relatives à la structure de

l'ionosphère ; l'Université de Iowa et Martin (constructeur du « Vanguard ») se partageront les mesures relatives aux rayons cosmiques ; le Signal Corps (corps des Transmissions) de l'armée américaine étudiera la couverture nuageuse de la Terre ; l'Université de Maryland mesurera l'effet d'érosion des micrométéorites.

Le satellite « passif » et la mesure de la densité de l'exosphère

Deux sortes de mesures peuvent être demandées au satellite. Les premières ne dépendent pas de son équipement ; elles tiennent simplement à l'existence d'une orbite approximativement circulaire à faible distance de la Terre. N'importe quel aéroлите, placé sur une telle orbite se prêterait au même emploi ; c'est le satellite que l'on qualifie de « passif ».

La mesure exacte des caractéristiques de l'orbite et de leurs variations avec le temps fournira d'abord la plus précise des données que nous puissions avoir sur la densité de l'air aux altitudes décroissantes où il naviguera, depuis les 400 à 1700 km du début jusqu'au voisinage de la haute stratosphère où il disparaîtra en flammes.

Les mesures permises par le satellite sont d'une extrême précision ; elles donneront directement sa « décélération », d'où, connaissant sa masse, on déduira sa résistance aérodynamique, sa « traînée ».

On a d'ailleurs à l'étude un projet de sphère gonflable très légère en plastique et clinquant d'aluminium, de plus grandes dimensions que le satellite et qui serait lâchée sur son orbite. Présentant un rapport beaucoup plus élevé de la traînée au poids, une sphère de ce genre donnerait une mesure de densité plus précise pendant une période d'observation beaucoup plus courte.

La configuration de la Terre

Si extraordinaire qu'il paraisse, on ne connaît pas exactement la forme de la Terre ni la répartition de l'intensité de la pesanteur. Les deux sont liées. On sait bien qu'au voisinage de l'équateur la pesanteur est sensiblement plus faible qu'aux pôles, de 1/300 environ ; la différence tient en partie à la force centrifuge et aussi au renflement équatorial provoqué par cette même force centrifuge, et qui éloigne le corps pesant du centre de la Terre en diminuant son poids.

Les mesures relatives au renflement équa-

torial de la Terre doivent pouvoir être conduites avec une grande précision par une observation de longue durée. Si la Terre était une sphère parfaitement homogène, ou même un assemblage de couches sphériques homogènes, un calcul simple démontre que son attraction équivaudrait à celle d'un point de même masse totale placé en son centre ; le satellite décrirait, autour de ce centre comme foyer, une orbite elliptique de périégée et d'apogée fixes (à la résistance près du milieu traversé), dans un plan restant constamment parallèle à lui-même, entraîné avec la Terre sur son orbite autour du Soleil ; la rotation diurne de la Terre s'exécuterait à l'intérieur de cette orbite. Mais le renflement équatorial de la Terre impose son assimilation à un disque et non à un point. L'orbite d'un satellite voisin de la Terre est particulièrement sensible à cet effet ; il se traduit par une lente rotation du plan de l'orbite autour de la ligne des pôles, une « précession » ; la durée d'une révolution complète de ce plan serait de deux mois environ pour l'orbite du satellite américain. D'autres perturbations, mais à plus longue période, comme la rotation du grand axe de l'orbite elliptique dans son plan, peuvent également être mesurées. Leur ensemble fournira la détermination la plus exacte que nous puissions avoir du renflement équatorial.

Mesures géodésiques

En dehors de cette donnée d'ensemble sur la forme générale de la Terre, les pointés sur un satellite à quelques centaines de kilomètres d'altitude compléteront utilement les mesures géodésiques, bases d'une cartographie de notre planète. Théoriquement, comme un arpentage, une seule mesure de longueur complétée par des mesures d'angles permet aux géodésiens de déterminer la forme de la Terre et de situer exactement chacun de ses points. Le reste est affaire de calculs trigonométriques. La difficulté est l'absence de points de repère bien placés, ni trop bas ni trop hauts. Ils peuvent d'abord manquer complètement : si, de cette manière, l'on rattache avec précision les montagnes de Corse aux sommets alpins, aucune possibilité de ce genre ne se présente entre l'Europe et l'Amérique ; on déplore de ne connaître la largeur de l'Atlantique qu'à quelques kilomètres près, donc de ne pouvoir utiliser toute la précision des dispositifs de guidage d'engins intercontinentaux. De plus, les visées lointaines, au voisinage de l'horizontale, sont

entachées d'erreurs importantes dues à la réfraction des rayons dans les basses couches de l'atmosphère; c'est pourquoi, jusqu'aux récentes ascensions, on connaissait si mal la hauteur exacte de sommets himalayens, cependant visibles, par les mesures faites à grande distance. Des mesures angulaires sur des points précis de la Lune échappent à cette cause d'erreur, mais pour retomber dans l'imprécision liée aux calculs trigonométriques de triangles dont deux côtés sont presque parallèles. Le satellite à quelques centaines de kilomètres d'altitude ne sera ni trop bas, ni trop haut; c'est à 100 m près qu'un pointé sur le « Spoutnik » fixera la distance de New York à Moscou.

Pression et température

Les premières mesures transmises par radio du satellite lui-même porteront sur ce qu'on appelle son « environnement » : pression du milieu où il se déplace; température prise par ses parois; effet d'érosion des micrométéorites.

Les caractéristiques propres du satellite et l'intensité des radiations solaires ou terrestres qu'il reçoit sont les facteurs essentiels de la température qu'il prend. Elle doit varier, selon les calculs assez précis qu'on a faits pour le projet « Vanguard », de plusieurs centaines de degrés centigrades à sa pénétration ou à sa sortie du cône d'ombre de la Terre. Ces variations expliquent le remplissage d'azote sous pression avec circulation forcée pour l'égalisation des températures, annoncé sur le « Spoutnik ».

D'autres dispositions ont dû être prises, telles que l'isolation thermique des batteries d'accumulateurs.

Les micrométéorites

Le satellite décrira son orbite au milieu d'une pluie continuelle de météorites.

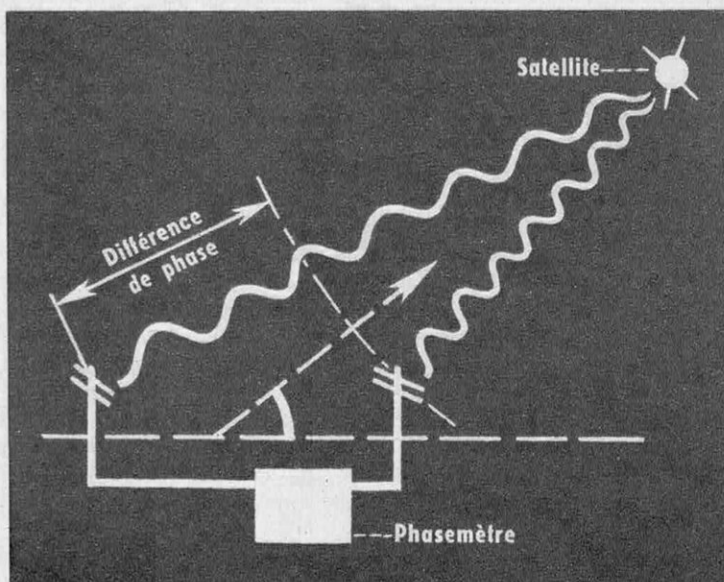
La répartition des météorites suivant leur taille, approximativement connue, a permis de calculer leur probabilité de rencontre avec le satellite; les seuls auxquels il est vraiment exposé ne dépasseront pas la masse du milliardième de milligramme. Ce n'est pas suffisant pour l'endommager, mais seulement pour le dépolir, comme on le sait déjà par l'expérience des plaquettes polies montées sur fusées de sondage à grande altitude, qui redescendent mates.

Deux dispositifs de mesure de cet effet d'érosion ont été proposés : une couche conductrice mince appliquée sur une très petite partie isolée de la surface extérieure du satellite, et dont on mesurerait la diminution progressive d'épaisseur par l'augmentation de sa résistance électrique; une couche mince d'un émetteur de radiations dont l'usure réduirait l'émission, le choix portant de préférence sur des radiations alpha qui seraient absorbées en totalité à l'intérieur de l'appareil sans troubler les autres mesures.

Les radiations solaires : ultraviolet et rayons X

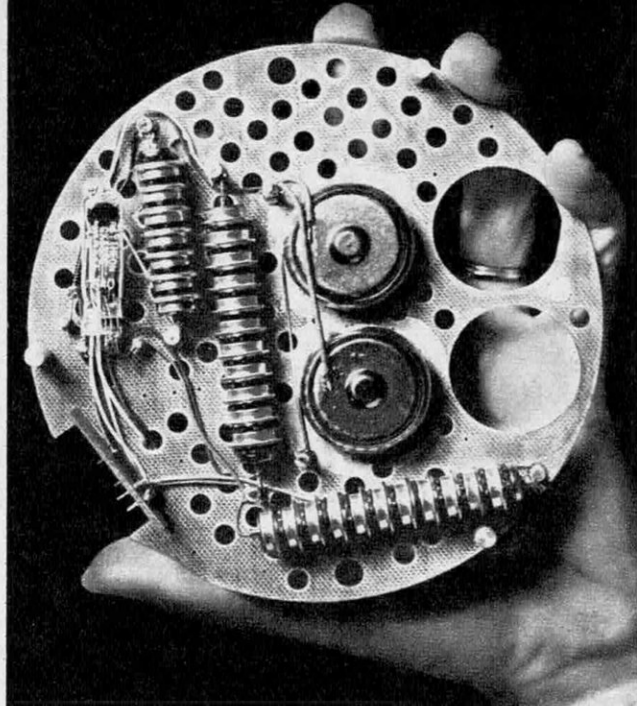
L'atmosphère n'est pas transparente à des bandes importantes d'ultraviolet, et en

LE SYSTÈME « MINI-TRACK » prévu pour déterminer les positions du « Vanguard » utilise les interférences dues à la différence de phase du signal du satellite reçu par deux antennes montées aux extrémités d'une base. De la différence de phase on déduit l'angle que fait la direction où est vu le satellite avec celle de la base. Les observations conjuguées de plusieurs stations indiquent la position du satellite à chaque instant.





LA RADIATION LYMAN ALPHA émise par l'hydrogène vers 1 216 angströms représente une grande partie de l'énergie ultraviolette reçue du Soleil et absorbée par la haute atmosphère. A gauche, une chambre d'ionisation spéciale pour son observation, à oxyde



Doc. Shell Aviation News

nitrique gazeux et fenêtre en fluorure de lithium. A droite, circuits enregistrant la valeur maximum mesurée au cours de chaque révolution complète du satellite; cette valeur est transmise par un signal codé au passage au-dessus d'une station réceptrice.

particulier à la longueur d'onde aux alentours de 1 216 angströms, qui porte le nom de ligne Lyman alpha. Elle est émise par l'hydrogène du Soleil et représente une grande partie du rayonnement ultraviolet que nous recevons.

Les radiations ultraviolettes émises par le Soleil, comme les rayons X de même provenance, constituent la plus grosse part de l'énergie absorbée par la haute atmosphère. Une partie se manifeste par l'ionisation de celle-ci; une autre parvient jusqu'à la basse atmosphère suivant des processus qui ne sont pas complètement connus et qui ont certainement sur le temps et le climat une influence qu'on voudrait élucider.

L'enregistrement des radiations ultraviolettes de la bande Lyman alpha se fera, sur le satellite américain, avec une minuscule chambre d'ionisation pleine d'oxyde nitrique s'ionisant au-dessous de 1 340 angströms, et fermée par une fenêtre en fluorure de lithium ne laissant passer que les radiations au-dessus de 1 100 angströms. Une mesure continue de courte durée pendant chaque révolution et le maximum atteint au cours de cette révolution seront transmis par télémesure, au

passage du satellite au-dessus d'une station radioréceptrice.

Les rayons cosmiques

Les rayons cosmiques primaires, qui sont des noyaux d'atomes légers et lourds dotés d'une énergie qu'il n'a pas encore été possible de reproduire dans les plus puissants de nos accélérateurs de particules, sont presque entièrement absorbés par l'atmosphère; ils nous parviennent donc principalement, au voisinage du sol, sous forme de rayons secondaires issus de leur rencontre avec les composants de l'atmosphère. C'est pourquoi l'étude des rayons cosmiques a bénéficié, dès le début, de tous les progrès qui ont permis d'élever le matériel expérimental de plus en plus haut : observatoires en montagne, ascensions en ballons pilotés à grande altitude, ballons puis fusées de sondage.

Le satellite présente sur les moyens précédemment employés l'avantage d'un enregistrement continu à des altitudes décroissantes, de l'apogée au périégée d'abord au cours d'une même révolution, puis lorsque son orbite se rapprochera de la surface de la Terre.

Le satellite météorologique

La Terre reçoit sa chaleur du rayonnement solaire et renvoie dans l'espace, sur des longueurs d'onde très différentes, celle qu'elle n'utilise point. Le rayonnement réfléchi est de près de 100 % du rayonnement incident si celui-ci tombe sur une couche nuageuse, de 15 % en moyenne sur un continent, de 4 % seulement sur les océans. La mesure précise moyenne de cette restitution est déjà intéressante, mais la mesure instantanée encore davantage; les chiffres précédents montrent qu'elle pourra indiquer notamment si le satellite se trouve ou non au-dessus d'une zone nuageuse. Quelques satellites suffiraient pour suivre la naissance et la répartition des nuages.

Les mesures de rayonnement seront faites par des bolomètres, de caractéristiques différentes, dont les indications seront enregistrées sur ruban magnétique en 180 points de l'orbite, et transmises au-dessus d'une station réceptrice.

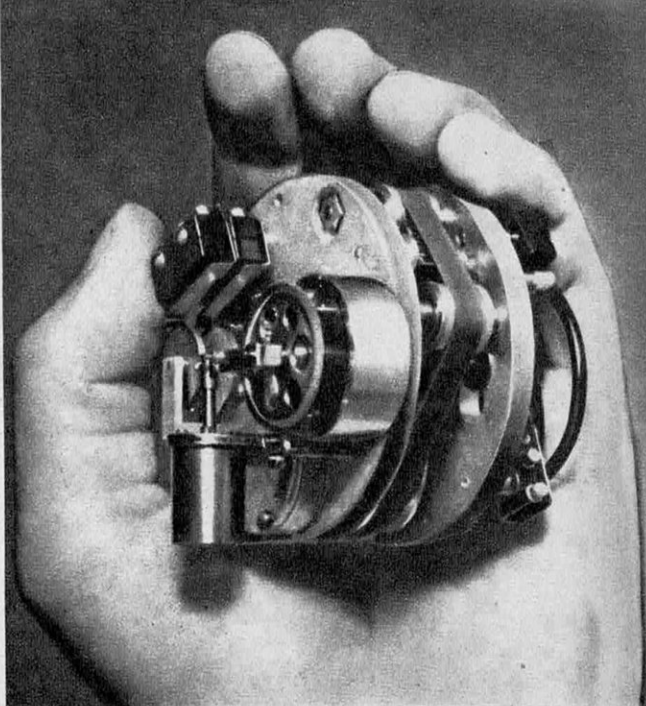
On escompte, de ces mesures, des données intéressantes quant à la prévision du temps à courte et à longue échéance. Mais les météorologistes ont déjà établi les plans de satellites beaucoup mieux outillés, réservés à leur usage particulier.

Le satellite photographique

Si l'on ne risque guère de recevoir d'un super-Spoutnik quelque bombe nucléaire qu'il est beaucoup plus simple d'envoyer directement par engin balistique, les applications militaires n'en sont pas exclues pour autant, en particulier l'observation.

L'étude d'ensemble d'un tel engin d'observation, W.S.117L ou « Big Brother » (« Grand Frère ») a été confiée à Lockheed au début de 1956, avec la collaboration de la Columbia Broadcasting Co pour la partie télévision, et d'Eastman Kodak pour la partie photographique qu'on a jugé indispensable de lui adjoindre. La télévision s'expose en effet d'abord au risque de brouillage, ensuite à celui du temps couvert. La photographie échappe au premier, si l'on conserve le cliché pris en Asie Centrale pour ne l'émettre qu'au survol des États-Unis. D'autre part, à la photographie en lumière visible s'ajouteront une photographie en infra-rouge et une photographie par radar qui percent plus ou moins les nuages.

La première des difficultés à résoudre est le maintien des appareils en direction du sol à photographier. La précision des détails



Doc. Shell Aviation News

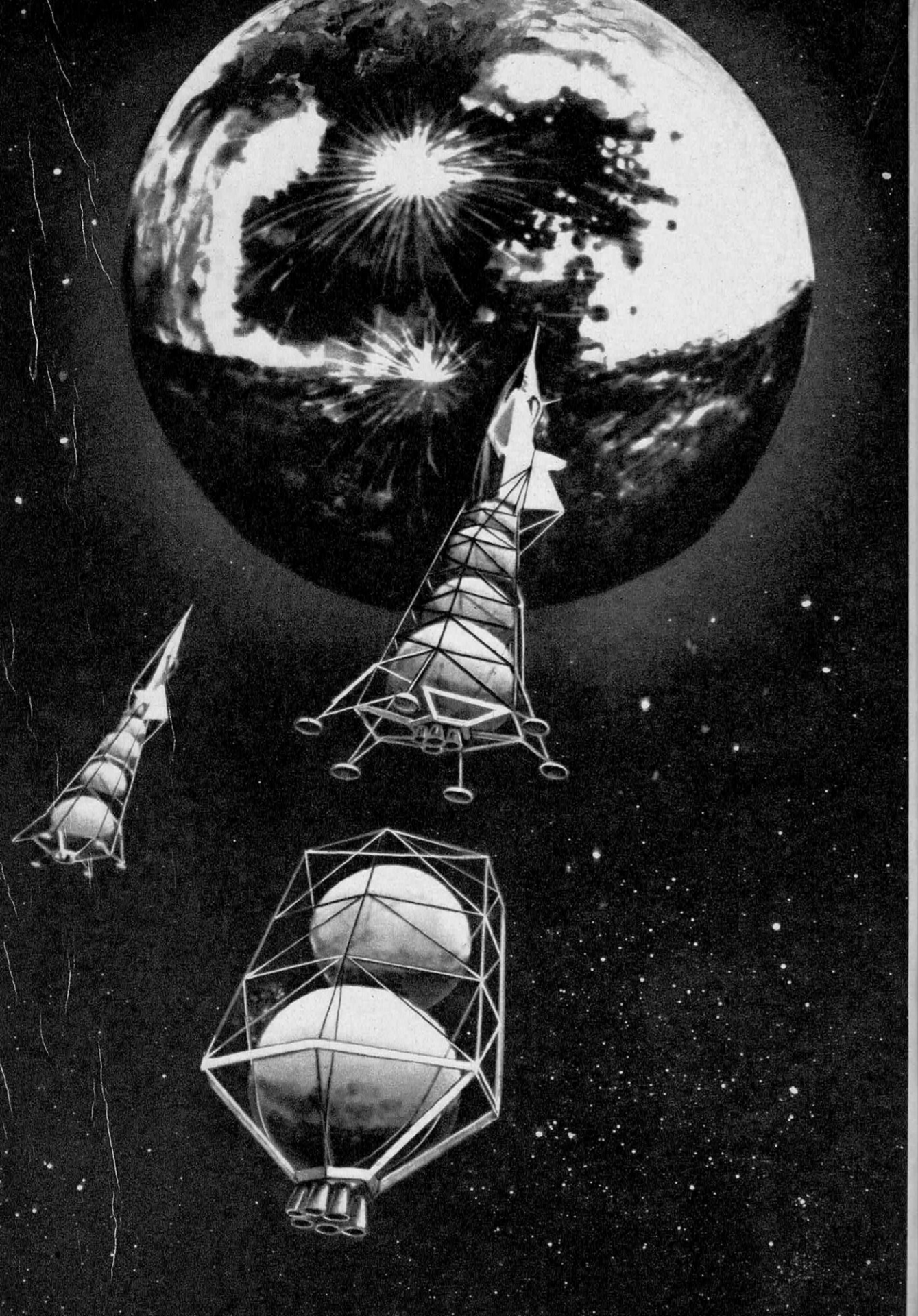
CE MAGNÉTOPHONE MINIATURE enregistre les renseignements recueillis par le compteur de rayons cosmiques au cours d'une révolution du satellite de 90 et quelques minutes et les retransmet rapidement quand le satellite passe près d'une station au sol.

exige, sur un téléobjectif, celle de l'orientation. L'asservissement du satellite à une verticale pourra être obtenu, par exemple, d'après la direction moyenne des radiations renvoyées par la Terre.

L'objection la plus sérieuse est, croyons-nous, la limitation des renseignements à attendre de la reconnaissance photographique. Le camouflage la défie. Le satellite ne décelera pas les bases de lancement d'engins intercontinentaux souterraines; elles n'apparaîtront du ciel que sous la forme d'une trappe gazonnée recouvrant un puits invisible. Il ne détectera pas davantage les ports d'où partiront les sous-marins armés d'engins de portée intermédiaire: ils seront creusés dans quelque falaise avec accès uniquement sous l'eau.

A l'extrême limite des applications possibles du satellite apparaît l'observation astronomique, qui suppose le satellite avec équipage, en attendant les stations-relais pour rechargement en combustibles des astronefs qu'Oberth prévoyait dès 1920, et les nombreux autres emplois qu'on ne manquera pas de leur trouver.

Camille ROUGERON



LES VOYAGES COSMIQUES

LE lancement des premiers satellites artificiels de la Terre représente une prouesse technique incontestable. Pour l'astronautique, c'est surtout la première justification concrète de ses espoirs quant à la conquête effective de l'espace extraterrestre par l'homme.

Les performances acquises sont jusqu'ici très modestes puisqu'on n'est guère parvenu qu'à faire graviter à faible distance de la surface du globe des masses bien inférieures à la tonne et que l'homme n'a pas encore osé s'aventurer en chair et en os sur leurs orbites. Elles annoncent cependant les étapes futures.

Le bombardement de la Lune

Dans l'état actuel de la technique des fusées, on peut prévoir sans risque d'erreur qu'il sera bientôt possible d'envoyer un projectile sur la Lune. L'intérêt d'une telle performance serait sans doute limité à quelques indications sur la nature du sol lunaire, que certains croient pulvérulent, et, par l'observation des effets d'une explosion à sa surface, sur l'origine peut-être météorique des cratères.

Au récent congrès de Barcelone, le Professeur S. F. Singer a proposé sérieusement de prendre la Lune pour cible dans les



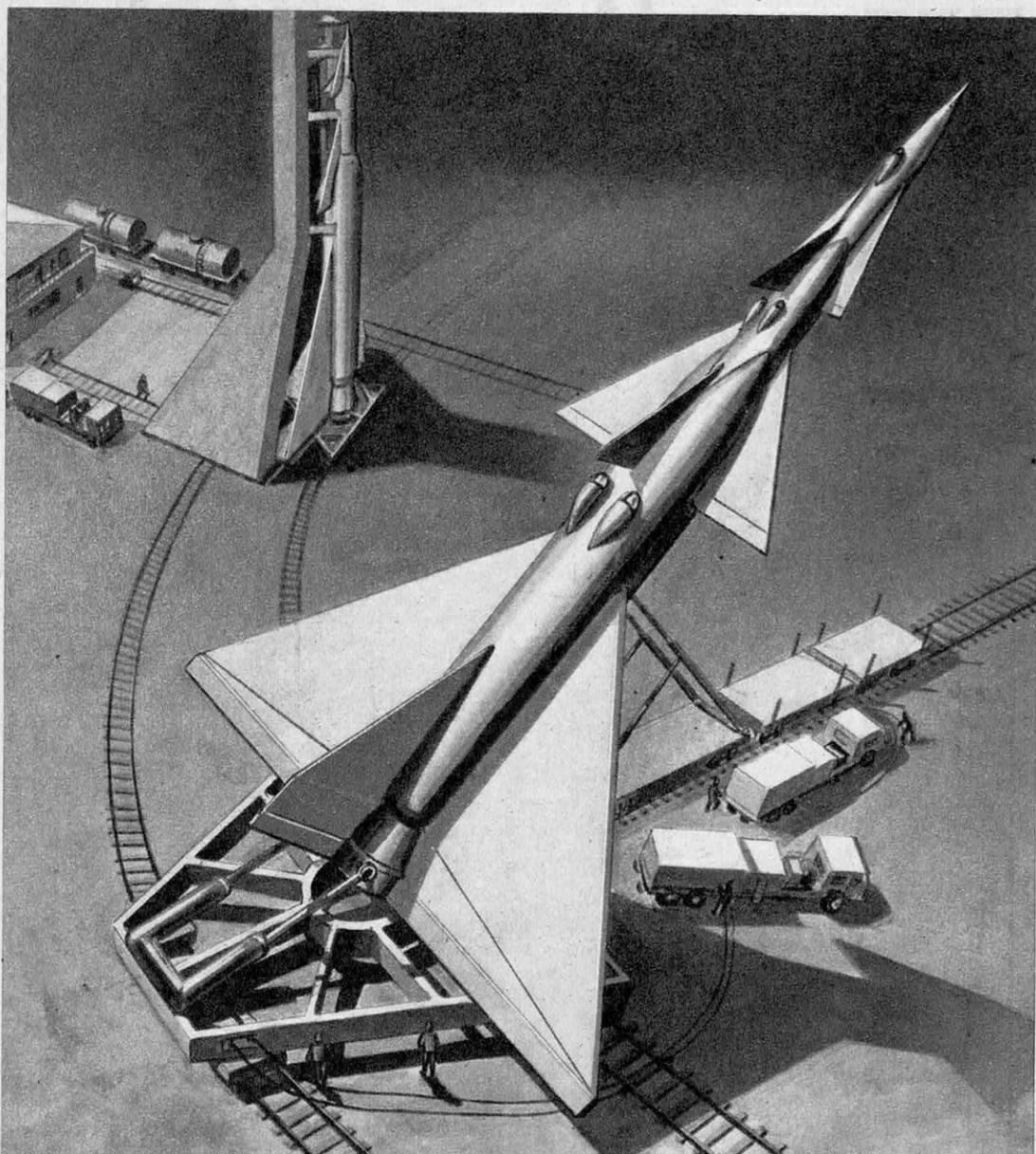
← **LE VOYAGE A LA LUNE**, selon le projet Meteor Junior, de la Goodyear Aircraft Corporation, s'effectue à partir d'un «satellite-relais» où sont montées les fusées à étages multiples pour l'aller et le retour. La Lune étant totalement dépourvue d'atmosphère, tout profilage des fusées est superflu.

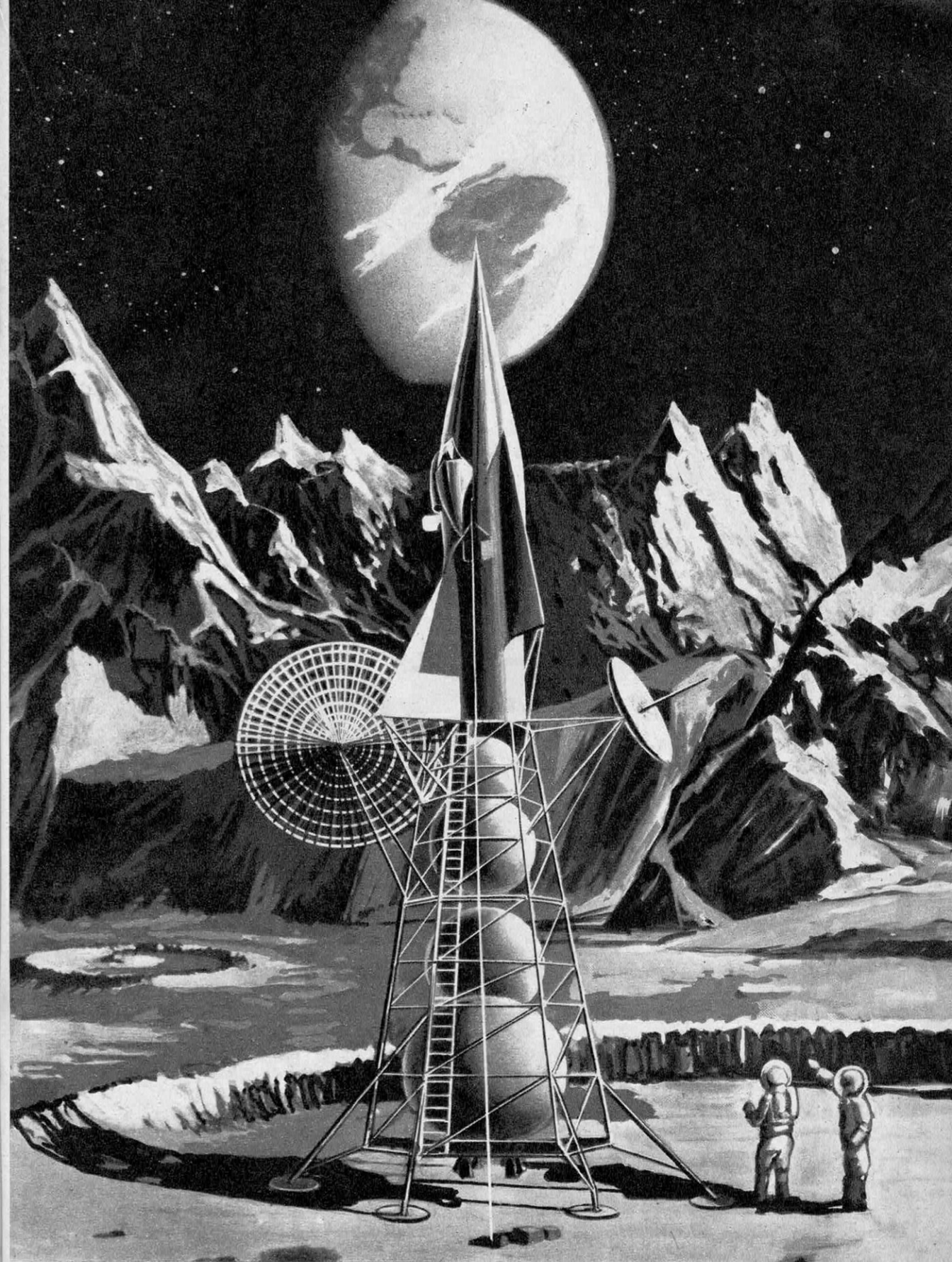
Le projet Meteor Junior

LES fusées du projet Meteor Junior sont à trois étages, chacun constitué par un engin pourvu d'ailes et emportant un équipage chargé de ramener au sol, pour les lancers suivants, les deux premiers étages; le troisième amènerait quatre hommes et une tonne de charge utile sur l'orbite choisie et serait capable de revenir en vol plané sur le sol terrestre après avoir apporté sa contribution à l'édification du satellite. Il y aurait au total 27 moteurs-fusées utilisant le fluor: 17 pour le premier étage, 6 pour le deuxième et 4 pour le troisième. Le poids total d'une fusée serait compris entre 100 et 500 tonnes. Une fois les trois

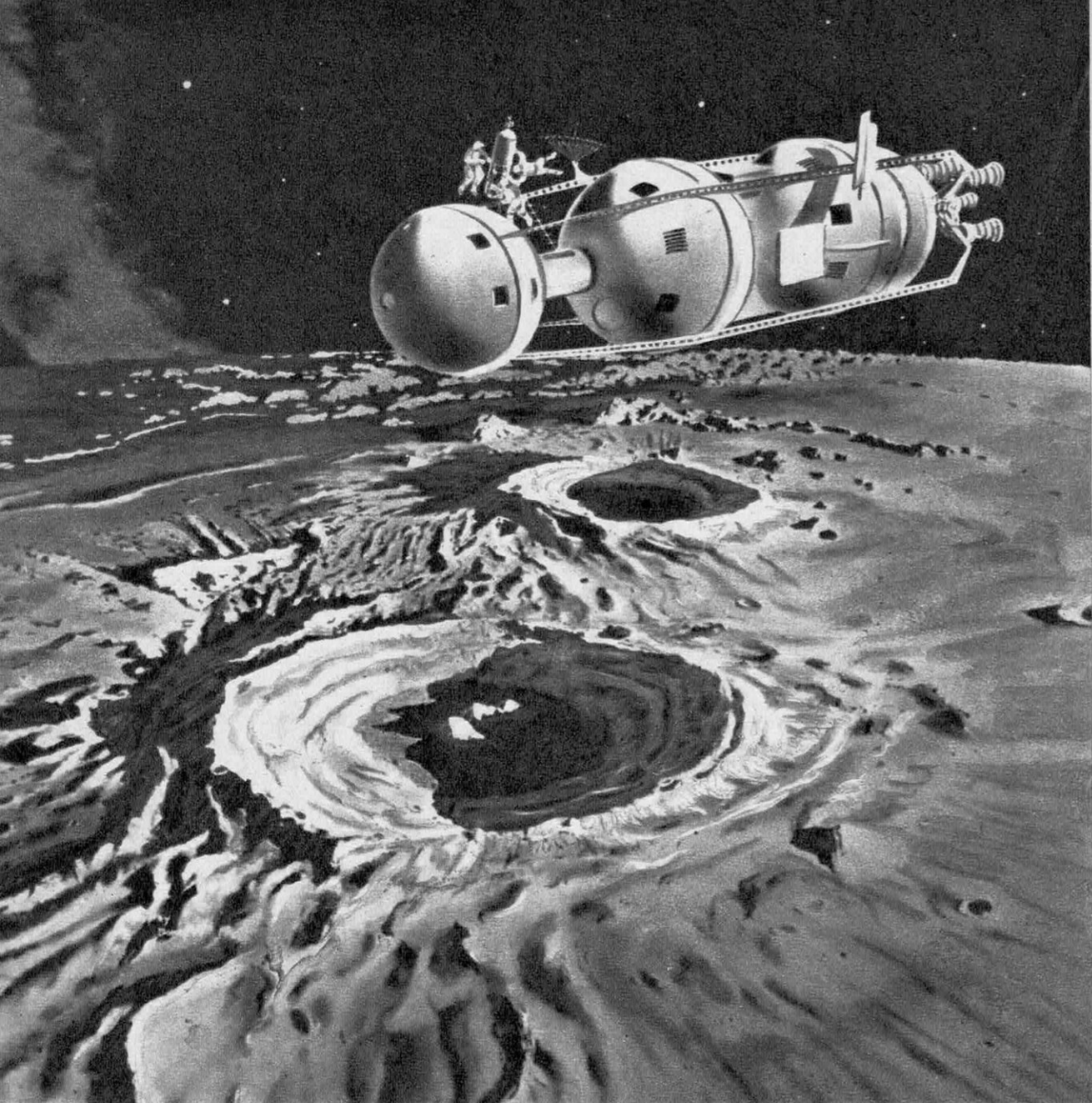
sièmes étages de plusieurs fusées rassemblés sur une orbite, certains seraient modifiés pour aller visiter la Lune, soit en en faisant seulement le tour, soit en descendant sur sa surface. Ils seraient équipés dans ce but d'étages supplémentaires à l'arrière pour constituer de nouvelles fusées à quatre étages, leur apparence étant alors totalement différente de celle des engins composites lancés de la Terre, puisqu'aucun profilage n'est nécessaire. Le poids d'un véhicule se posant sur la Lune serait d'environ 150 tonnes, y compris le combustible et le comburant indispensables pour que les astronautes reviennent sur l'orbite de départ.

Assemblée horizontalement, la fusée est dressée pour le lancement.





La fusée posée sur la Lune s'apprête à regagner le satellite-relais.



Comment von Braun voyait l'astronef qui effectuerait le voyage circumlunaire.

essais de projectiles intercontinentaux porteurs de bombes H. Les explosions expérimentales de bombes H s'effectueraient ainsi sur un astre mort, sans danger désormais pour les populations terrestres, et on mesurerait la puissance en observant l'intensité de l'éclair depuis le sol terrestre ou à l'aide de détecteurs de rayons gamma envoyés dans la haute atmosphère, ou encore en mesurant avec soin le diamètre du cratère créé. La course à

la bombe H entre les grandes puissances se transformerait en une pacifique compétition à qui ferait le plus grand trou dans la Lune.

D'un point de vue plus scientifique, on peut considérer que des fragments lunaires détachés par une explosion pourraient parvenir sur la Terre et y être analysés chimiquement, ce qui, par comparaison de la proportion des éléments présents dans ces roches avec celle observée sur la Terre

fournirait d'utiles précisions sur l'origine de notre satellite.

Cette suggestion originale a été accueillie par le congrès avec une certaine réserve, car il a paru peu indiqué de commencer l'exploration de la surface lunaire en la transformant en champ de tir et en détruisant ainsi plusieurs de ses détails caractéristiques.

Le satellite-relais

Nous avons vu au chapitre précédent quelles applications scientifiques ont été retenues pour les premiers lancements de satellites, celles auxquelles il faudra se borner tant que le problème du « retour » à la Terre n'aura pas été entièrement résolu.

Pourra-t-il y avoir d'autres applications ?

Dès 1951, au Congrès International d'Astronautique de Londres, le Dr. L. R. Shepherd soulignait le rôle capital que le satellite artificiel semble appeler à jouer dans la conquête des espaces interplanétaires en tant que station-relais.

Dans les conditions les plus économiques, le moins difficile des voyages, le parcours Terre-Lune et retour, comportant au moins deux périodes d'accélération au départ de la Terre et de la Lune et deux périodes de freinage à l'accostage sur la Lune et au retour sur la Terre, exigerait, avec les vitesses d'éjection qu'on peut obtenir des combustibles chimiques, des « rapports de masse » (rapport du poids total au départ au poids de l'engin après épuisement de son combustible) considérables qui conduiraient, même avec des fusées à multiples étages, à des engins énormes n'emportant encore qu'une charge utile très réduite.

Ils paraissent difficilement réalisables. Au contraire, le voyage aller et retour jusqu'à un satellite d'altitude voisine de 500 km n'exigerait que des rapports de masse modérés et des engins de dimensions acceptables, que l'on pourrait encore réduire par le retour à la surface de la Terre avec freinage atmosphérique qui ne réclame en principe pas de carburant. Plusieurs voyages ayant amené sur le satellite les matériaux nécessaires au montage d'une autre fusée, ou tout simplement le combustible nécessaire au ravitaillement d'une des fusées venues de la Terre, celle-ci entreprendrait le voyage satellite-Lune et retour, avec éventuellement arrêt de nouveau sur le satellite pour un ultime ravitaillement en vue du retour sur la Terre.

Il ne faudrait pas croire que l'usage d'une telle base orbitale se traduit par une économie de carburant; son unique avantage

est de permettre l'exécution pratique du voyage avec des engins de dimensions acceptables et avec les combustibles dont nous disposons.

Elle ne résout cependant pas tous les problèmes et la question devient assurément plus délicate lorsque l'on projette des voyages plus lointains à partir du satellite.

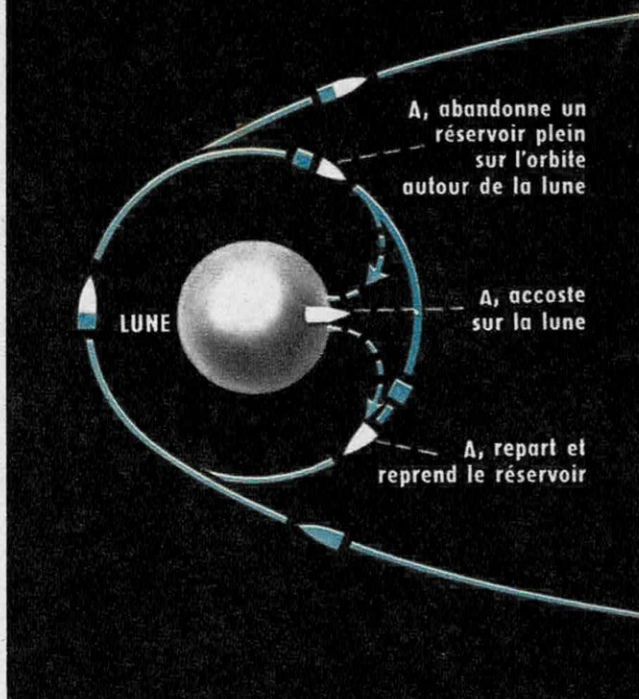
Il faudra probablement alors envisager l'emploi d'un autre mode de propulsion, par exemple la fusée ionique utilisant l'énergie nucléaire ou celle du rayonnement solaire. Les voyages interplanétaires apparaîtraient ainsi liés à la combinaison de deux sortes de véhicules : des fusées chimiques à forte poussée pour l'établissement de stations spatiales au voisinage des planètes desservies; des fusées ioniques, à grande vitesse d'éjection et cependant faible poussée, pour la liaison entre ces stations satellites.

L'exploration de la Lune

La Lune a une masse qui vaut environ 0,0123 fois celle de la Terre. La pesanteur à sa surface est seulement de 0,16 g. Nous pourrions tracer pour elle un diagramme analogue à celui que nous avons dressé pour la Terre (page 122) pour mettre en évidence le travail à accomplir pour éloigner une masse de sa surface à l'infini. Nous trouverions qu'il est égal au travail à fournir pour élever cette masse à 278 km de hauteur, en supposant l'accélération de la pesanteur constante et égale à ce qu'elle est sur la Terre. Le « puits » de la Lune serait donc beaucoup moins profond que celui de la Terre et il serait beaucoup plus aisé d'en sortir. Mettant cette remarque à profit, un certain nombre d'auteurs ont proposé d'aménager sur notre satellite une véritable base de départ pour l'exploration des autres planètes. Il en est même qui se sont demandé sérieusement si on ne pourrait pas entreprendre sur la Lune une véritable exploitation minière pour s'y procurer des matières premières à élaborer sur place et y construire des astronefs à destination des autres mondes. Il est certain que de sérieuses économies seraient ainsi obtenues, car le prix du transport sur la Lune d'équipements fabriqués sur la Terre est très élevé. Il est cependant prudent de faire quelques réserves sur la possibilité d'une telle entreprise sur un astre dépourvu d'atmosphère, bien qu'évidemment les problèmes de manutention y soient simplifiés par la faible valeur de la pesanteur.

Projet de voyage sur la Lune

Le projet de voyage à la Lune de H.E. Ross prévoit un départ de 3 fusées (a, b, c) et une première étape sur une orbite circulaire de la Terre, où la fusée c est vidée de son contenu: équipage et combustible. La fusée a part seule vers la Lune; arrivée sur une orbite circulaire convenable, elle y abandonne un réservoir, avant d'entreprendre l'accostage final. Au retour, a récupérera son réservoir pour pouvoir regagner b sur l'orbite terrestre initiale. C'est sur b que le retour définitif sur la Terre s'effectuera. Tout ceci implique une judicieuse répartition des charges abandonnées sur les orbites et récupérées ensuite pour le ravitaillement en combustible nécessaire aux phases successives du voyage aller-et-retour.



Descente sur la Lune

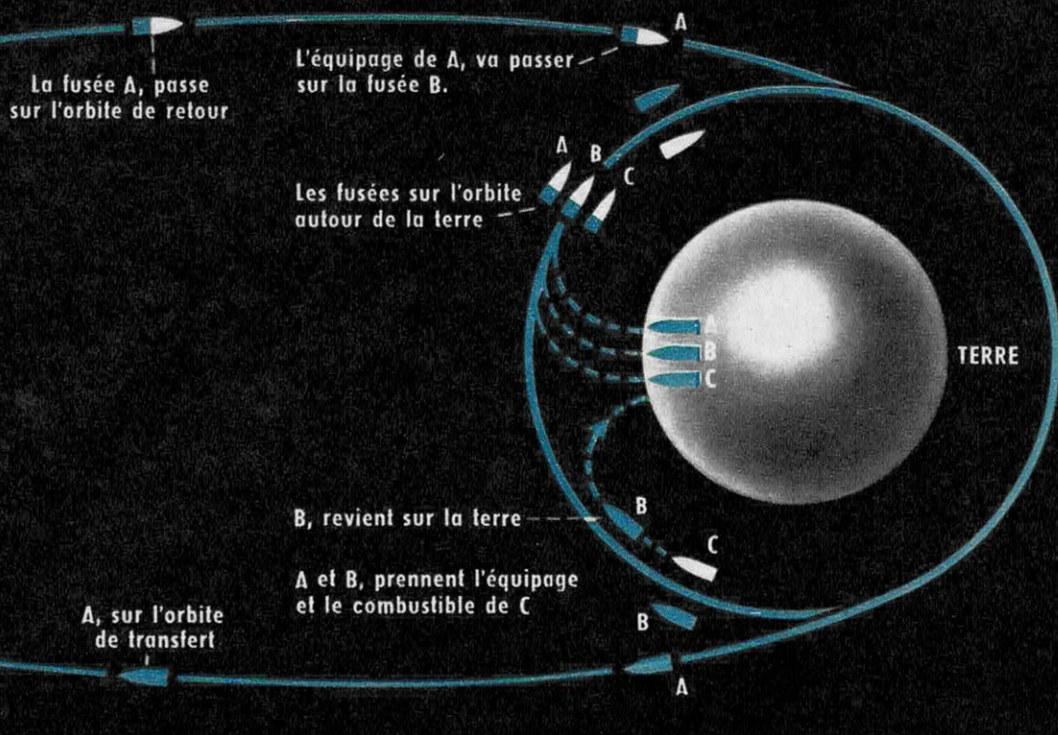
La vitesse de libération sur la Lune est de 2,3 km/s. Elle apparaît très modérée et les fusées modernes atteignent facilement des vitesses de cet ordre. Dans l'état actuel de la technique, il serait aisé de lancer un engin de la surface de la Lune pour le faire tomber sur la Terre, l'inverse étant beaucoup plus difficile. Il faudrait lui donner au départ de la Terre une vitesse pas très inférieure à la vitesse de libération (11,2 km/s) pour qu'il parvienne avec une vitesse presque nulle au point situé entre la Terre et la Lune où l'attraction des deux astres s'équilibre, soit à quelque 40 000 km de la Lune. Au delà, attiré par la Lune, il tomberait sur elle et atteindrait sa surface avec une vitesse voisine de 2,3 km/s. La Lune n'ayant pas d'atmosphère, on n'a pas la ressource, comme pour le retour sur la Terre, de freiner le mouvement par frottement aérodynamique et de prendre contact avec le sol en vol plané ou par parachute. Il faudrait mettre en action des fusées capables de fournir la même vitesse finale. On voit que, pour le voyage Terre-Lune, la vitesse caractéristique théorique serait de $11,2 + 2,3 = 13,5$ km/s. En tenant compte des pertes par frottement et par gravité à la traversée de l'atmosphère terrestre et de la marge de manœuvre nécessaire, divers auteurs arrivent au chiffre de 16 km/s.

E. Burgess, admettant une vitesse d'échappement des gaz de combustion de 4000 m/s, bien supérieure à ce que nous savons actuellement réaliser, en déduit le rapport de masse de l'engin, voisin de 30 (la V-2 avait un rapport de masse de 3,5 environ). Si on envisage un voyage aller-et-retour, avec freinage sur la Terre par fusées, la vitesse caractéristique est double, soit 32 km/s et le rapport de masse ressort à 860, absolument irréalisable.

Terre-Lune et retour

E. Burgess a tenté d'évaluer le poids au départ d'un engin capable d'effectuer l'aller et le retour, en abandonnant en différents points du voyage les parties de charpente, moteurs-fusées, etc., qui ont rempli leur office et qui constituent un poids mort inutile. Il a trouvé que, pour une charge utile de 1 tonne, ce qui semble modeste, puisqu'elle comprendrait le poids de la cabine étanche, du personnel, de son équipement et de ses réserves alimentaires et respiratoires, l'engin pèserait au lancement 3 250 tonnes. Encore ce calcul paraît-il optimiste, car il suppose une vitesse d'éjection de 4 000 m/s. Seul le freinage atmosphérique au retour sur la Terre permettrait des gains de poids appréciables.

Si l'on ne recule pas devant la dépense, on peut envisager de mettre à profit la



technique des satellites artificiels pour constituer des relais alimentés par des fusées plus ou moins nombreuses et où l'engin accomplissant le voyage se ravitaillerait en combustible en cours de route. De ce fait, on pourrait donner à ce dernier des dimensions acceptables. Plusieurs combinaisons sont possibles. La plus compliquée et aussi la plus séduisante prévoit l'emploi de deux orbites circulaires, l'une autour de la Terre, l'autre autour de la Lune, avec passage de l'une à l'autre par une courbe de transfert tangente aux deux, la montée et la descente des deux astres aux orbites circulaires s'effectuant également par des ellipses de transfert.

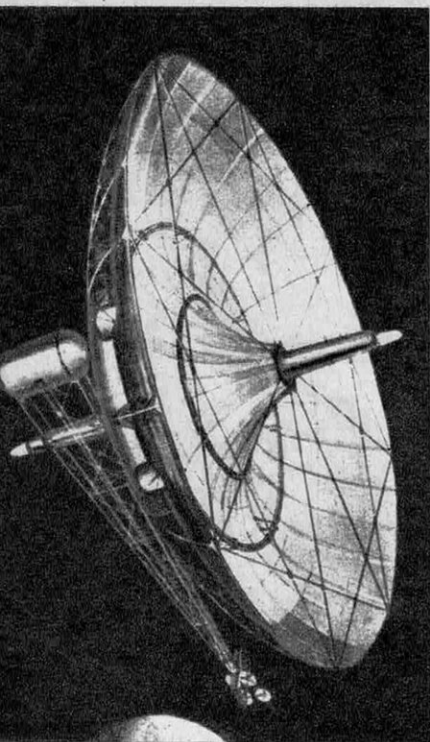
Voyages à la Lune

Un projet étudié par H. E. Ross montre les avantages pratiques, si l'on ose dire, de telles méthodes. H. E. Ross suppose au départ des astronefs pesant 442 tonnes et dont les moteurs-fusées éjectent leurs gaz à 5 000 m/s (bien au delà des possibilités actuelles). Trois de ces astronefs se donneraient rendez-vous sur une orbite circulaire à 800 km d'altitude environ. L'un d'eux, abandonnant une partie de sa charpente et ravitaillé en combustible par les deux autres, passerait sur une orbite de transfert avec 3 hommes d'équipage (il pèserait alors 65 tonnes) et arriverait sur une orbite circu-

laire autour de la Lune. Il abandonnerait là des réservoirs à combustible pleins et descendrait sur la Lune.

Pour le voyage de retour, l'engin regagnerait d'abord l'orbite circulaire de la Lune, y retrouverait le combustible mis en réserve et repartirait par l'orbite de transfert sur l'orbite circulaire de la Terre. Après un nouveau ravitaillement, ou plus simplement en faisant passer l'équipage sur un des deux astronefs qui y gravitent et où on aura laissé une provision de combustible, il ne resterait qu'à regagner la Terre.

Un peu plus compliqué est le processus imaginé par von Braun. Il suppose que l'on part de l'orbite de 2 heures, mais, comme nous l'avons vu, son orbite n'est pas dans le plan de l'équateur, de sorte qu'il faut calculer soigneusement l'instant du départ afin d'atteindre l'un des deux points où l'orbite de la Lune coupe le plan de l'orbite de 2 heures, au moment précis où la Lune passe par ce point. Au retour, il faudra quitter la Lune lorsqu'elle repassera par l'un de ces points, de sorte qu'entre l'arrivée et le départ sur la Lune il devra s'écouler deux semaines environ, ou un multiple de deux semaines, délai que les explorateurs pourront mettre à profit pour visiter notre satellite. La durée du voyage Terre-Lune serait de 5 jours environ. Von Braun prévoit 3 véhicules, de formes assez curieuses, bien différentes de ce que l'on attribue en

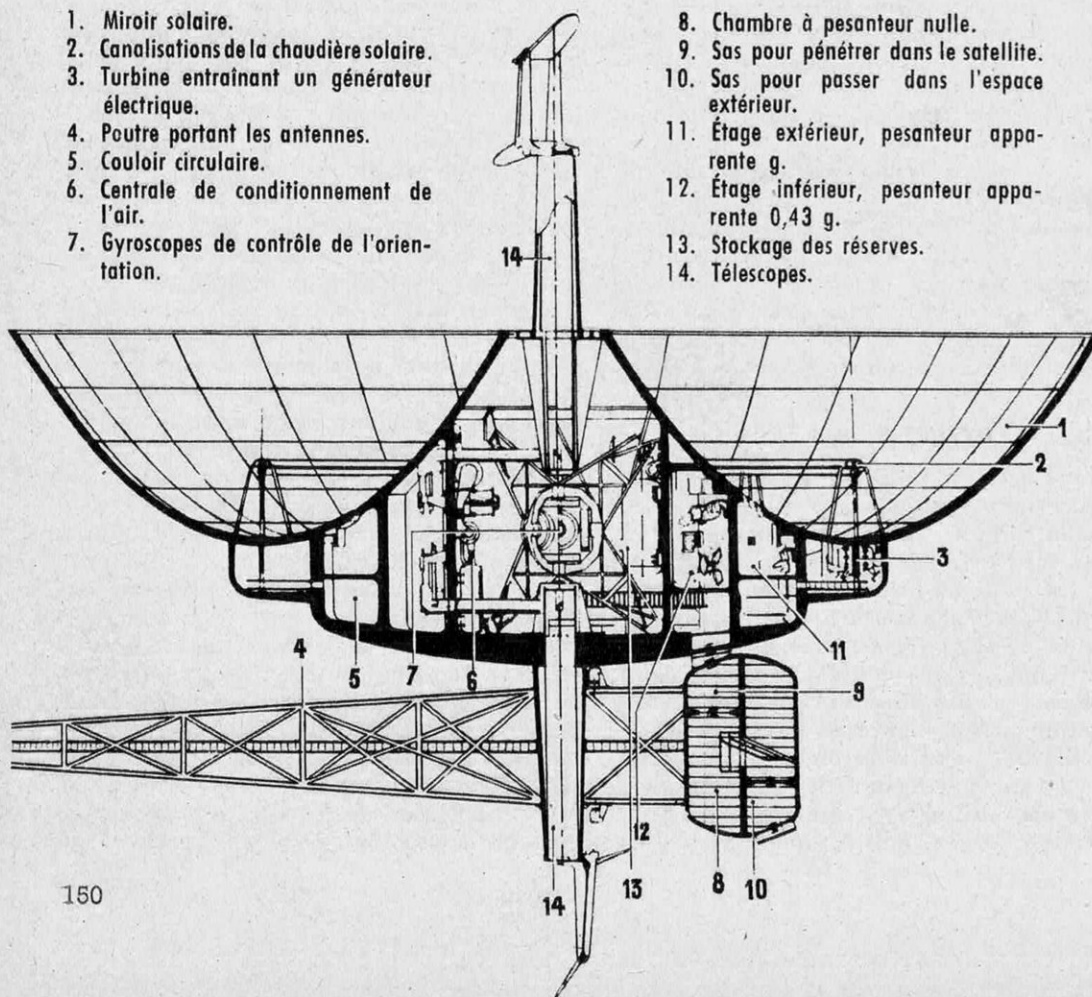


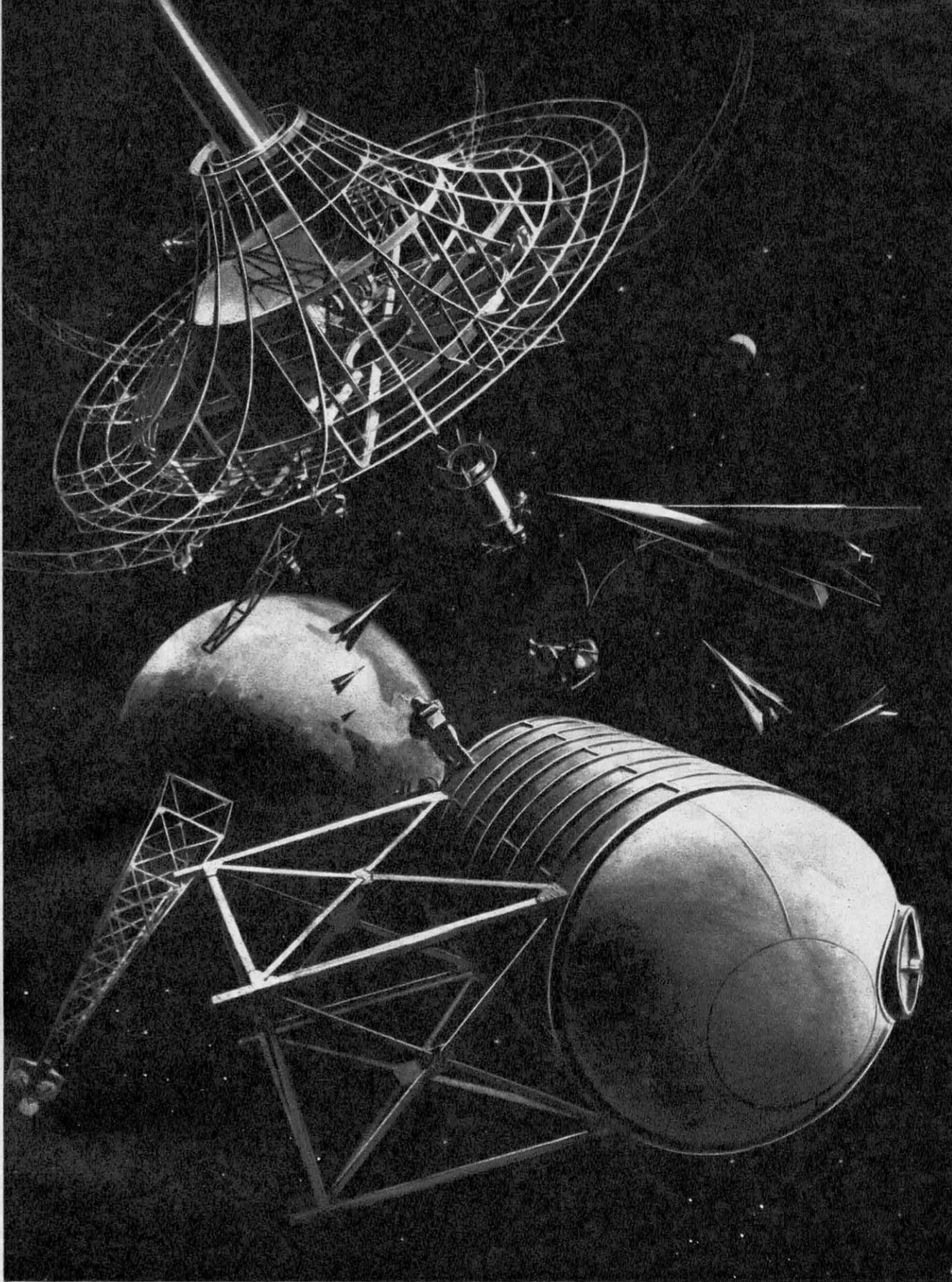
Le projet anglais de Ross et Smith

La construction d'un satellite artificiel de la Terre, station météorologique, observatoire astronomique et relais astronomique, pose des problèmes auxquels les auteurs sérieux ont apporté des solutions assez voisines. Ross et Smith rétablissent une pesanteur artificielle en imprimant au satellite une rotation calculée. Ils placent l'enceinte habitée derrière un vaste miroir en forme de tore parabolique dont l'axe serait constamment dirigé vers le Soleil par des gyroscopes. Le miroir concentrerait les rayons solaires sur une canalisation qui serait la «source chaude» d'une machine thermique entraînant un générateur électrique. Un bras portant l'antenne radio est muni à son autre extrémité d'un sas qui permet d'entrer ou de sortir du satellite. Ci-contre et ci-dessous, vue d'ensemble et coupe du satellite. A droite, le montage du satellite à l'aide de matériaux apportés par fusées. Les ouvriers travaillant en l'absence de pesanteur peuvent déplacer sans grand effort des éléments de grandes dimensions.

1. Miroir solaire.
2. Canalisations de la chaudière solaire.
3. Turbine entraînant un générateur électrique.
4. Poutre portant les antennes.
5. Couloir circulaire.
6. Centrale de conditionnement de l'air.
7. Gyroscopes de contrôle de l'orientation.

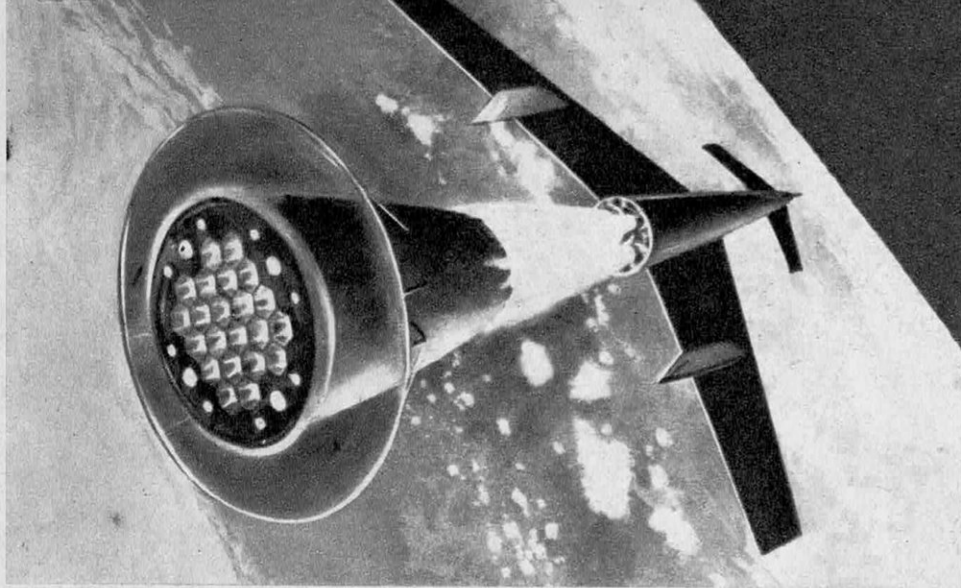
8. Chambre à pesanteur nulle.
9. Sas pour pénétrer dans le satellite.
10. Sas pour passer dans l'espace extérieur.
11. Étage extérieur, pesanteur apparente g.
12. Étage inférieur, pesanteur apparente 0,43 g.
13. Stockage des réserves.
14. Télescopes.





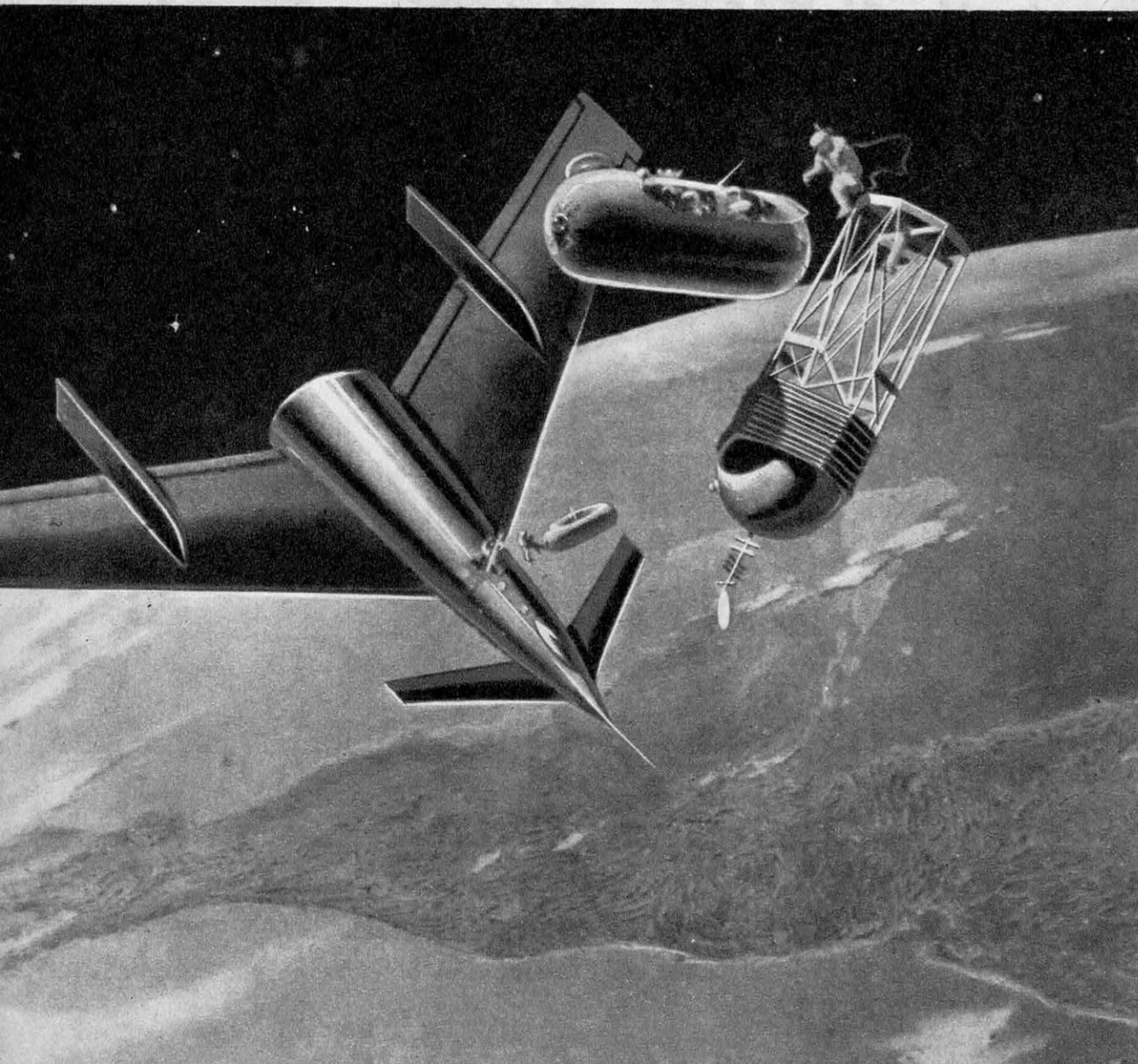
Dessin de R. A. Smith

Début de l'assemblage du satellite sur l'orbite.



Le départ pour l'orbite de la fusée à trois étages.

Le satellite-roue,

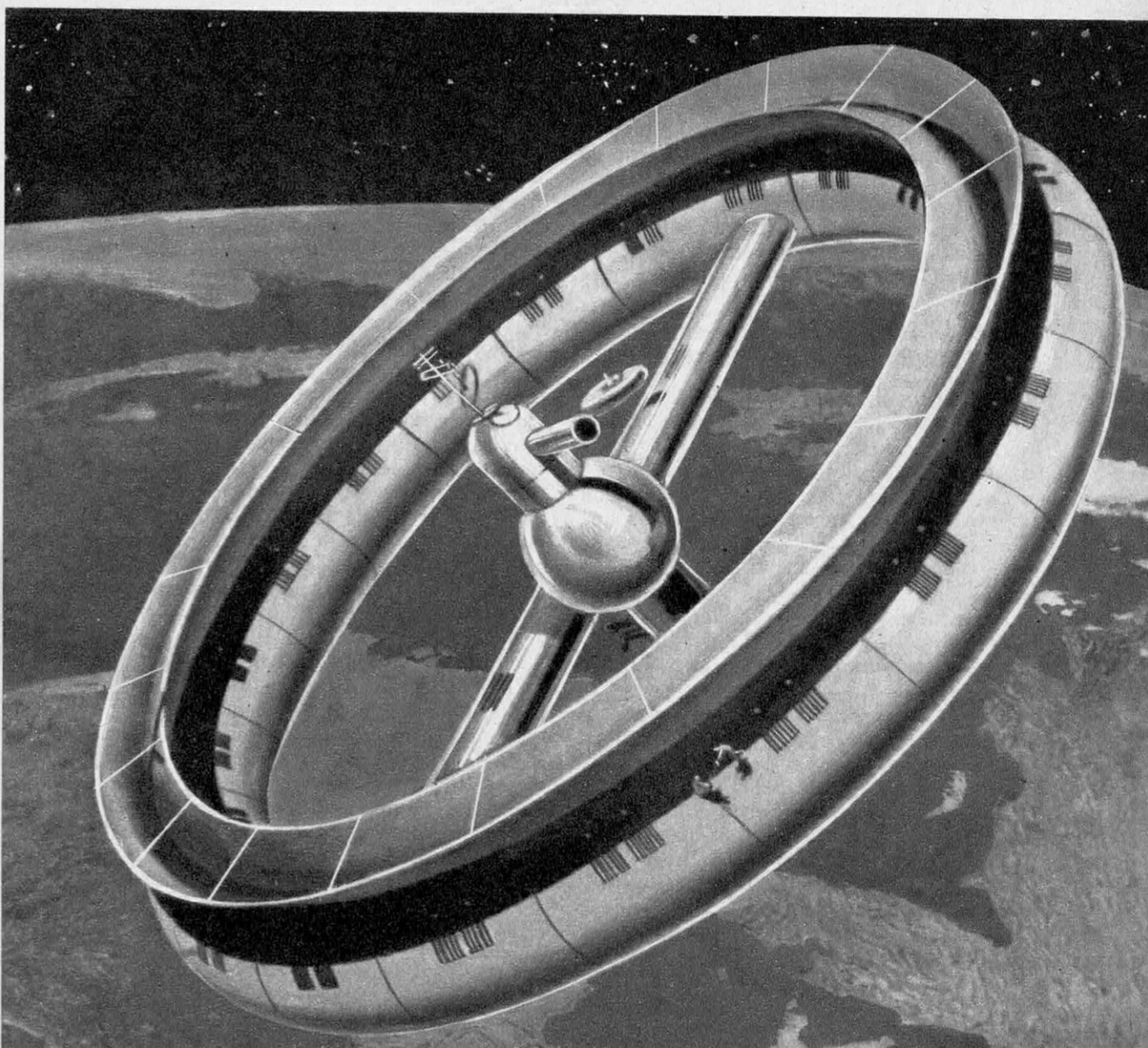


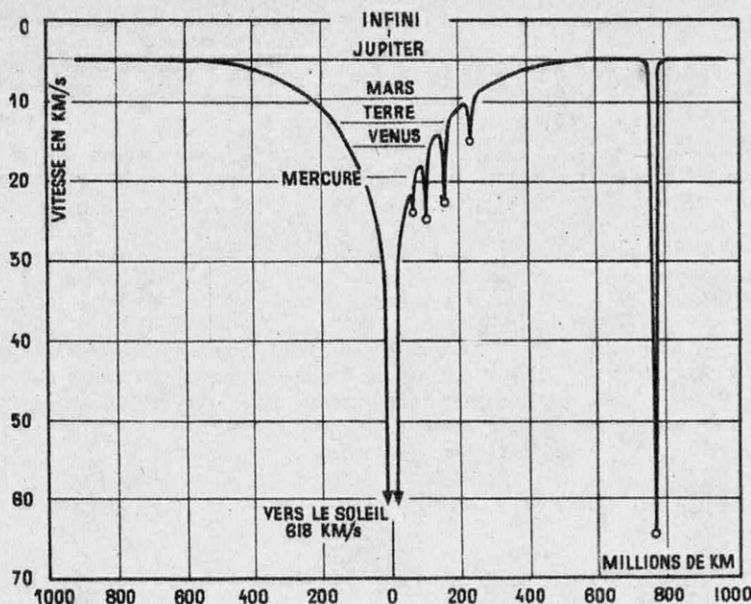
Satellite et astronefs de von Braun

LE satellite artificiel conçu par von Braun, le grand responsable de la V 2, a été décrit abondamment dans la revue américaine *Colliers*. Dans l'esprit de son auteur ce doit être une base pour des explorations interplanétaires. Son édification sera effectuée à l'aide d'éléments préfabriqués amenés par fusées. Les 20 sections en toile de nylon et plastique, transportées aplaties, seront gonflées sur l'orbite où elles seront assemblées par un personnel muni de scaphandres étanches et d'un petit moteur-fusée, à air comprimé ou à eau oxygénée très concentrée, pour assurer ses déplacements. L'ensemble formera une roue de 75 m de large effectuant un

tour toutes les 22 secondes pour donner un effet équivalent au 1/3 de la pesanteur terrestre. De nombreuses installations y sont prévues ainsi que des taxis servant à son accès. Les fusées de liaison avec la Terre seraient des fusées propulsées par un mélange liquide: hydrazine, acide nitrique. Le premier étage, à 51 moteurs fusées, fournirait une poussée de 14 000 t pendant 84 secondes; le second de 34 moteurs, donnerait 1 750 t pendant 124 secondes; le troisième de 5 moteurs fusées, assurerait 220 t. La vitesse finale serait de 30 000 km/h. Seul le troisième étage est pourvu d'ailes pour le retour sur Terre où l'atterrissage s'effectuerait en vol plané.

conçu par von Braun, avec son télescope, ses « taxis » et ses fusées de liaison.





LE CHAMP GRAVIFIQUE
du Soleil et des planètes jusqu'à Jupiter est ici figuré d'une manière analogue au graphique de la page 122 qui concernait la Terre. Il est cette fois gradué en vitesses, non en énergies. La profondeur de chaque « puits » est fonction de la vitesse de libération correspondant au Soleil et à chacune des planètes.

général aux astronefs. C'est que, pour la navigation dans le vide, tout souci d'aérodynamisme est superflu. Deux des véhicules effectueraient l'aller et le retour à partir de l'orbite de 2 heures en abandonnant en chemin leurs réservoirs vides et le troisième, emportant une réserve de combustible pour le ravitaillement des deux autres et du matériel, serait abandonné avec celui-ci sur la Lune.

L'exploration des planètes

L'étude très sommaire à laquelle nous venons de nous livrer montre que le voyage à la Lune, malgré toutes ses complications, est du domaine des choses possibles, tout au moins si l'on fait preuve d'un sérieux optimisme quant au progrès de la technique au cours des prochaines années. Le voyage aux planètes constituera l'étape suivante. Encore ne s'agira-t-il que des planètes les plus proches, Vénus et Mars, les seules intéressantes, semble-t-il, d'après les données de l'astronomie telles qu'elles ont été exposées dans un chapitre précédent.

Le problème général ne diffère pas sensiblement de ceux rencontrés jusqu'ici. Toute l'astronautique n'est au fond qu'une branche de la mécanique céleste. Dans le champ gravifique de la Terre, comme dans celui des planètes où l'on pénétrera éventuellement, les astronefs se meuvent suivant les mêmes trajectoires que les satellites; dans le champ gravifique du Soleil, ils se meuvent suivant les mêmes trajectoires que

les planètes ou les comètes. Naturellement il s'agit de vol libre, sans autopropulsion, c'est-à-dire sauf pendant les périodes où les propulseurs sont en action; ces périodes sont généralement très courtes (de l'ordre de 10 minutes pour aller en un point quelconque du système solaire), sauf si l'on envisage l'intervention de propulseurs spéciaux, tels que les fusées ioniques.

Ainsi, à travers le système solaire, la plupart des mouvements des astronefs se feront suivant des ellipses, avec le Soleil pour foyer, et lorsqu'on voudra passer d'une trajectoire à une autre, il suffira de faire varier la grandeur et non la direction de la vitesse, à condition cependant que les deux trajectoires soient dans le même plan. Or, précisément, les orbites des planètes ne sont pas dans le même plan. L'écart est assez faible: 3°,4 pour celle de Vénus, 1°,9 pour celle de Mars, mais il se traduit par des distances considérables pour certaines positions des planètes: Vénus peut s'écarter à 6,4 millions de kilomètres du plan de l'écliptique, et Mars à 8 millions de kilomètres. Il faudra donc, au moment convenable, modifier la direction de l'astronef et cela ne pourra être réalisé qu'en le plaçant à angle droit sur sa trajectoire initiale, c'est-à-dire en le faisant tourner de 90° à l'aide, par exemple, d'un système de volants, et en mettant en action ses propulseurs, pour obtenir, par composition des vitesses, la direction désirée. Une telle manœuvre sera toujours terriblement coûteuse en combustible, et elle exigera de laborieux

calculs et un repérage exact de l'astronef sur sa trajectoire, ce qui soulève de nombreuses difficultés, sur lesquelles nous ne nous étendrons point.

Comme nous l'avons fait pour les satellites artificiels et pour la Lune, nous essaierons de chiffrer les performances à exiger des astronefs interplanétaires en « vitesses caractéristiques ».

Dans le champ solaire

Entre le champ gravifique de la Terre et celui du Soleil, il n'y a pas de différence de nature, mais seulement d'intensité. Cette différence est à vrai dire colossale et si nous voulions dresser un graphique analogue à celui de la page 122 pour le Soleil, le « puits » serait profond de 20 millions de kilomètres. La vitesse de libération à la surface du Soleil est de 618 km/s, mais elle diminue rapidement à mesure qu'on s'en éloigne. C'est ce que représente le graphique de la page 154, reproduit d'après A. C. Clarke. On voit sur la partie gauche de la figure comment varie cette vitesse de libération avec la distance. Sur la partie droite, les planètes jusqu'à Jupiter inclus ont été indiquées à leurs éloignements respectifs et pour chacune d'elles on a dessiné un « puits » (chiffré en vitesses cette fois, et non en énergie) dont la profondeur est fonction de la vitesse de libération correspondante. Ce graphique peut être très utile aux astronautes pour évaluer, en première approximation, les difficultés à surmonter pour passer d'une planète à une autre. Comme l'a fait remarquer Clarke, on voit qu'il serait plus facile d'aller de Mercure à Jupiter que de Vénus à Jupiter, bien que Mercure soit plus proche du Soleil que Vénus.

Le voyage interplanétaire

Le schéma général d'un voyage interplanétaire, très simplifié, sera le suivant : il faut d'abord quitter la Terre, et pour cela acquérir une vitesse voisine de la vitesse de libération. Puis passer de l'orbite terrestre (que nous supposerons circulaire pour simplifier) sur une ellipse de transfert; un supplément de vitesse donnera une ellipse extérieure qui permettra d'accéder aux planètes supérieures (Mars, par exemple) et une réduction de vitesse donnera une ellipse intérieure conduisant aux planètes inférieures (Vénus par exemple). Parvenus sur l'orbite de la planète visée, il faudra ou accélérer ou freiner pour égaliser la vitesse de l'astronef et celle de la planète. Enfin, pour accoster,

il faudra donner une impulsion correspondant à la vitesse de libération de la planète (à moins qu'on ne puisse pratiquer un freinage aérodynamique). La vitesse caractéristique est donc la somme de quatre termes. Si on fait le calcul, on trouve pour Vénus 26,8 km/s, et pour Mars 21,8 km/s. E. Burgess a calculé les rapports de masse correspondants (en admettant 4 000 m/s pour la vitesse d'éjection) : 810 pour Vénus et 232 pour Mars.

Ce sont déjà des chiffres respectables, et pourtant il ne s'agit que de voyages aller. Pour l'aller et le retour, les vitesses caractéristiques doublent, mais les rapports de masse croissent beaucoup plus vite : pour Mars on trouve 50 000, et pour Vénus 650 000. Nous arriverons là à des tonnages véritablement astronomiques.

De la Lune à Mars

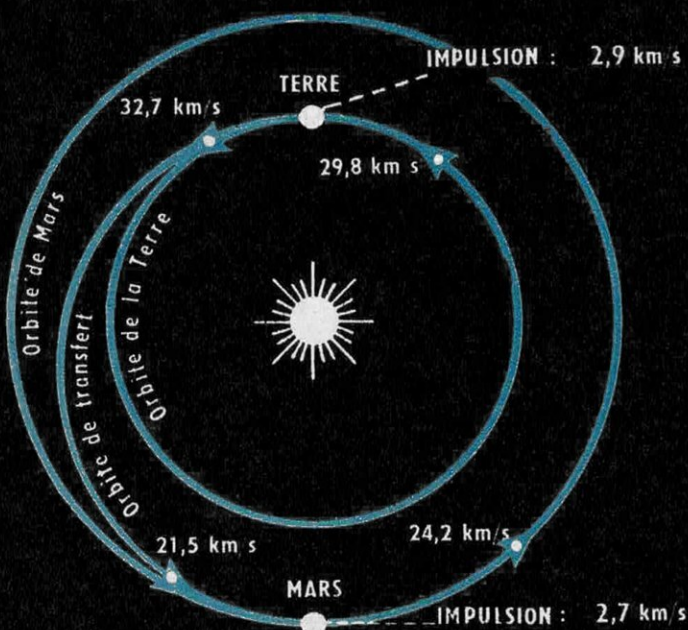
Divers artifices permettraient de les réduire, en particulier l'utilisation systématique du freinage atmosphérique. Mais ils resteraient encore considérables. Peut-être, si l'on admet de prendre le départ sur la Lune, ce qui suppose l'établissement préalable d'une base sur notre satellite, et en communiquant par une seule impulsion la résultante de la vitesse de libération et de la vitesse de transfert, pourrait-on envisager un voyage aller et retour à Mars qui ne demanderait plus, d'après E. Burgess, qu'un rapport de masse de 125 ; si l'on borne son ambition à se poser sur le petit satellite de Mars, Deïmos, où la pesanteur est pratiquement nulle, le rapport de masse tombe à 38,4, toujours en partant de la Lune et en y revenant. Ce chiffre n'a plus rien d'effrayant. Mais alors, ne pourrait-on envisager d'installer sur Deïmos une base analogue à la base lunaire ? Partir de Deïmos, accoster sur Mars et revenir sur Deïmos n'exige que 6 km/s, soit un rapport de masse de 20. Le problème est résolu. Mais à quel prix ?

Les ellipses de transfert tangentes aux deux orbites sont les trajectoires les plus économiques en combustible, puisque pratiquement tout le voyage s'effectue sans intervention des propulseurs. Mais la durée du parcours est assez longue : 146 jours pour Vénus, 237 jours pour Mars.

On peut certes la réduire en parcourant des ellipses de plus grande excentricité, mais alors on coupe les orbites des planètes sous un angle très prononcé et on est obligé d'opérer, non seulement des changements de vitesse, mais des changements de direction dont nous avons déjà dit qu'ils sont

VOYAGE TERRE - MARS

VITESSE DE LIBÉRATION SUR LA TERRE : 11,2 km/s

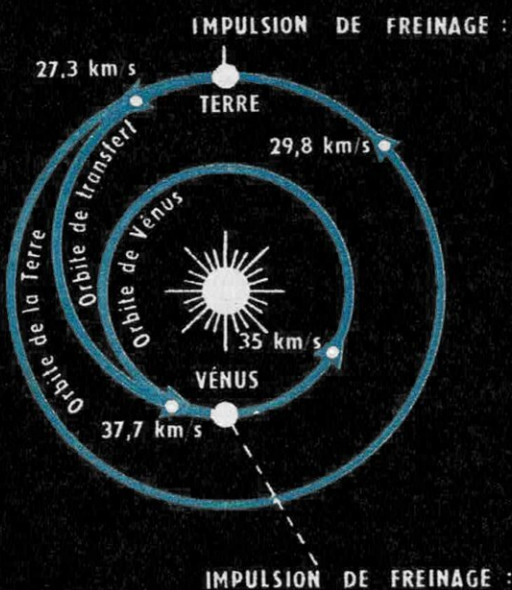


VITESSE DE LIBÉRATION SUR MARS : 5,0 km/s

VITESSE CARACTÉRISTIQUE : 21,8 km/s

VOYAGE TERRE - VÉNUS

VITESSE DE LIBÉRATION SUR LA TERRE :



VITESSE DE LIBÉRATION SUR VÉNUS :

VITESSE CARACTÉRISTIQUE :

très onéreux. On peut aussi envisager d'appliquer à l'astronef une force propulsive pendant une partie sinon la totalité du voyage. La consommation devient alors colossale avec les propulseurs chimiques; seules les techniques ioniques pourraient donner la clef du problème.

L'exploration interstellaire

C'est un nouveau bond dans l'espace que nous allons maintenant entreprendre, un bond non plus de millions de kilomètres, mais de milliards ou de milliers de milliards. Nous allons dépasser non seulement les bornes du possible, mais aussi celles du vraisemblable.

Toutes les considérations astronautiques spéculent largement sur l'avenir, tenant pour acquis des progrès techniques qui se feront peut-être longtemps attendre. Nous avons vu plusieurs auteurs fonder leurs calculs sur des vitesses d'éjection de 4 000 ou 5 000 m/s, alors qu'on n'a guère dépassé 2 400 m/s dans les tuyères les plus évoluées.

Nous avons envisagé sans frémir les vitesses d'astronefs de 10 ou 20 km/s. Pourquoi nous arrêter en si beau chemin? Rien n'empêche — sur le papier — d'établir un astronef qui se lancerait à 10 000 km/s. Le fameux rapport de masse serait énorme avec les mélanges chimiques, même les plus puissants; mais les techniques atomiques n'en sont qu'à leurs débuts. Des dispositifs tels que les fusées ioniques, exerçant une poussée très faible, mais pendant des mois ou des années, pourraient communiquer à un astronef des vitesses considérables.

Voyages sans retour

Elles sont d'ailleurs indispensables. Pour atteindre la région de l'étoile α du Centaure, la plus proche de nous bien qu'à une distance de 4,3 années-lumière, il faudrait 130 000 ans à 10 km/s. A 10 000 km/s, il ne faudrait plus que 130 ans. C'est encore beaucoup, certes, mais L. R. Shepherd, qui a étudié cet aspect du problème astronautique, fait remarquer que le vol interstel-

11,2 km/s

2,5 km/s

Voyages à Mars et à Vénus

La méthode des ellipses bitangentes appliquée aux voyages à Vénus et à Mars est illustrée par ces deux croquis. L'astronef possède à l'origine la même vitesse que la Terre sur son orbite et une impulsion (accélération ou freinage) est nécessaire pour l'engager sur l'orbite de transfert qu'il parcourt en vol libre dans le champ solaire. Une autre impulsion (accélération ou freinage) est nécessaire pour l'établir sur l'orbite de la planète visée. La vitesse caractéristique s'en déduit en ajoutant les vitesses de libération aux deux impulsions. On trouve 21,8 km/s pour Terre-Mars; 26,8 km/s de la Terre à Vénus.

2,7 km/s

10,4 km/s

26,8 km/s

laire impose une nouvelle philosophie de l'exploration. Jusqu'ici, dans la découverte de régions inconnues du globe, les pionniers songeaient au retour; les comptoirs qu'ils établissaient, les colonies qu'ils fondaient restaient en liaison constante avec la métropole. Les astronautes iront sur la Lune, sur Mars et sur Vénus en comptant bien en revenir. Vers les autres mondes stellaires, il n'y aura pas de retour. L'explorateur partira avec la certitude de ne jamais revoir sa planète natale et aussi avec la certitude de ne pas connaître la planète où accostera l'astronef, s'il en trouve une. Quel serait alors le but de l'expédition?

Pour L. R. Shepherd, ce n'est pas un point de vue satisfaisant pour l'esprit que de considérer l'humanité comme irrémédiablement liée à une seule planète ou, si l'on veut, à un seul système solaire en admettant qu'elle réussisse à s'établir sur Mars ou Vénus, toujours à la merci d'un cataclysme, improbable mais possible. Il vaudrait mieux, pour assurer son avenir, qu'elle peuple plusieurs mondes au lieu d'un seul. Il

s'agit en somme d'essaimer à travers l'espace, et le problème n'est plus de transporter un homme ou même quelques hommes, mais une communauté. Alors la durée ne compte plus, les générations pouvant se succéder à bord de cette véritable arche de Noé que constituerait l'astronef et qui pendant cent ou peut-être mille ans chercherait un astre accueillant.

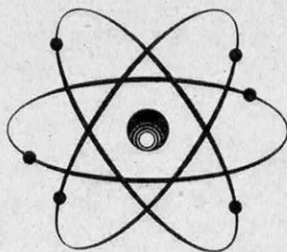
S'en trouverait-il? Aux dires des astronomes, c'est très probable, mais il faudra sans aucun doute chercher plus loin que α Centaure. On est à peu près sûr que les étoiles 61 Cygne (10,7 années-lumière) et 70 Ophiucus (12 années-lumière) possèdent un système planétaire. Les conditions se prêteraient-elles à la vie humaine? On ne sait et on ne le saura peut-être jamais qu'en allant voir sur place.

A la vitesse de la lumière

L. R. Shepherd, après bien d'autres, a aussi envisagé le cas où l'astronef se propulserait à une vitesse voisine de celle de la lumière. Cette hypothèse est purement gratuite car il faudrait que l'homme disposât de sources d'énergie beaucoup plus puissantes que tout ce qu'on connaît, et on peut même se demander si la transformation intégrale de la matière en énergie y suffirait. Mais cela n'empêche pas les astronautes de discuter les conditions d'un tel voyage. Elles ont de quoi surprendre.

La vitesse de la lumière, d'après la théorie d'Einstein, est une vitesse limite et si un mobile s'en approchait suffisamment, il se manifesterait une contraction apparente des longueurs, qui ne présente pas pour nous d'intérêt particulier, et une dilatation apparente du temps. C'est dire que le temps, au sens physique et biologique du mot, s'écoulerait moins vite pour l'astronaute que pour les observateurs restés sur la Terre, pratiquement au repos. Ce paradoxe est connu sous le nom de «paradoxe du voyageur de Langevin». Ainsi, si un astronaute va du système solaire à Procyon, à 10,4 années-lumière, et en revient à une vitesse constante inférieure seulement de 1 % à la vitesse de la lumière (voisine de 300 000 km/s), il mesure, d'après ses horloges et d'après le vieillissement de ses organes, une durée de 3 ans. Quant aux observateurs qui sont demeurés sur le système solaire, ils assistent à son retour 21 ans après son départ.

Nous préférons laisser aux auteurs de romans d'anticipation le soin de développer ce thème.



LA FRANCE DÉMARRE SON 2^e PLAN QUINQUENNAL ATOMIQUE

Le premier plan quinquennal atomique français vient de se terminer. Devant l'importance de ce problème, vital pour l'avenir de la France, il a été décidé de pousser très activement les réalisations atomiques prochaines.

La pile G 1 de Marcoule est déjà en fonctionnement depuis le début de 1956. Les piles G 2 et G 3 sont en cours d'achèvement, de même que l'usine d'extraction de plutonium.

Un nouveau centre de recherche atomique va être édifié à Grenoble. La première centrale électrique nucléaire E.D.F. 1 est mise en chantier, et la propulsion atomique sera probablement appliquée aux navires en attendant qu'elle le soit aux avions.

Désormais, toutes les grandes industries privées concourent avec le C.E.A., l'E.D.F. et la Marine Nationale au développement de l'Energie nucléaire et ont besoin de nombreux techniciens et ingénieurs spécialisés pour l'étude et la réalisation des piles atomiques destinées aux centrales électriques et aux navires.

C'est pourquoi, pour la première fois en France, une Ecole par Correspondance de grande notoriété pour la formation des Cadres de l'Industrie, l'INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL met à la portée des jeunes Elites des Industries classiques qui voudront être les premières bénéficiaires de l'utilisation industrielle de l'énergie nucléaire un enseignement pour la formation de Techniciens et d'Ingénieurs en Energie Atomique.

Le programme comporte les études suivantes et donne lieu à des exercices corrigés par des professeurs hautement qualifiés :

Physique atomique

Rappels (les électrons; la lumière; les atomes).

Physique nucléaire

Structure du noyau - Energie de liaison - Section efficace - Radioactivité naturelle - Etude des rayonnements Alpha, Bêta, Gamma - Les Neutrons; interaction avec la matière - Les réactions nucléaires - Les réactions de fission - Les réactions en chaîne.

Théorie et Constitution des piles

Cinétique, Contrôle et Réglage des piles

Refroidissement des piles - Métaux liquides

Etude de la réalisation des piles existantes

Pile de Saclay - Piles à eau lourde - Piles à graphite - Réacteurs homogènes - Breedere.

Classification des piles

Plutonium - Centrales Electriques - Problèmes économiques.

Matériaux des piles

Production et propriétés - Uranium - Eau lourde - Graphite, etc.

Les Radio-éléments

Utilisation industrielle.

Protection contre les radiations

Les bombes atomiques

Demandez le Programme détaillé EA/AO (en joignant 2 timbres) à l'INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL, 69, rue de Chabrol, Section Spéciale EA, Bâtiment A, PARIS X^e.

Pour la Belgique : I.T.P. Centre administratif, 87, rue de l'Ecole à ERPENT-NAMUR.

LA PROSPECTION DE L'URANIUM

à la portée de tous

Avec le détecteur D. R. A. I
à compteur Geiger-Muller

Détection auditive

SOCIÉTÉ D'APPLICATIONS INDUS-
TRIELLES DE LA PHYSIQUE

Alimentation par une seule pile
de 1,5 volt — autonomie 500 heures
Le plus robuste - le plus léger (400 gr)
Format 8 cm x 14 cm - Le meilleur marché

20 500 F. (franco t. t. c.)

En vente à la

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, rue Chauchat - PARIS-9^e

Tél.: TAL. 72-86 - C.C.P. Paris 4192-26

Prospectus détaillé
expédié sur simple demande

Cette bibliographie, établie d'après le stock d'ouvrages sélectionnés de notre librairie, ne représente qu'une partie des ouvrages figurant dans notre catalogue général.

ASTRONOMIE

ASTRONOMIE, LES ASTRES, L'UNIVERS. (Rudaux L. et Vaucouleurs G. de). Cet ouvrage présente, pour la première fois, en un langage accessible à tous, avec les acquisitions consacrées de l'astronomie classique, les découvertes les plus récentes de l'astronomie moderne. Près de 900 grav., dont un grand nombre de photos du ciel prises dans les grands observatoires. 1 vol. de 500 p. 21 x 30, ill. de 885 héliogravures et 12 pl. en coul., nouvelle édit., 1956, relié Fr. 4 950

ASTRONOMIE POPULAIRE CAMILLE-FLAMMARION. La terre. La lune. Le soleil. Les mondes planétaires. Les comètes, météores et météorites. L'univers sidéral. Les instruments de l'astronomie. 600 p. 23,5 x 29, tr. nbr. fig. et schémas, 800 héliogravures, 8 planches en couleurs et 2 cartes du ciel en couleurs. Relié plein pelliore vert, 1955 Fr. 5 600

ASTRONOMIE GÉNÉRALE (Picart L.) (Coll. A.C. N° 50). Le ciel étoilé - Astronomie sphérique - Instruments; procédés d'observation, corrections - Astronomie stellaire - Mouvements du Soleil - Temps - Mouvements des planètes - Gravitation - Orbites - La Lune - Éclipses - Forme et dimension de la Terre. 200 p. 11 x 17, 45 fig., 4^e édit., 1945 Fr. 300

AUX FRONTIÈRES DE L'ASTRONOMIE (Hoyle F.) Traduit de l'anglais par E. et M. Vincent. Les bizarreries de la terre. La terre au travail. La racine pivotante. Quelques applications diverses de la physique. Généralités au sujet de la lune et des planètes. L'origine des planètes. Le mystère de l'atmosphère solaire. Le soleil et son évolution. L'évolution d'étoiles de volume moyen. La mensuration des distances astronomiques. Naines et géantes. Étoiles explosives. Les bras en spirale de notre galaxie. Origine des étoiles dans les bras de notre galaxie. La galaxie en tant qu'aimant. Le monde des galaxies, leur formation. L'expansion de l'univers. Tests expérimentaux en cosmologie. L'origine continue de la matière. 386 p. 14 x 23, 67 fig., 59 pl. hors-texte, 1956 Fr. 1 800

LA STRUCTURE DE L'UNIVERS (Whitrow G.J.). Traduit de l'anglais par G. de Vaucouleurs. Les profondeurs de l'univers. Espace et temps. Relativité. Modèles d'univers. L'âge de l'univers. La structure des nébuleuses. La cosmologie et l'a priori. 252 p. 13 x 20, 1955 Fr. 650

LES PLANÈTES (Bruhat G. et Schatzman). Généralités. La terre. La lune. La surface des planètes. Structure interne des planètes. Étude particulière des planètes et de leurs satellites. Petites planètes, comètes, météores, météorites, lumière zodiacale. Les théories cosmographiques. 300 p. 14,5 x 19, 43 fig., 8 pl. photos hors-texte, 1952 Fr. 1 152

ATLAS DU CIEL (Callatay V. de). Cet ouvrage se compose de : 36 grandes planches à fond noir, couvrant ensemble la totalité de l'univers; 45 cartes complémentaires représentant, dans leurs délimitations, les 88 constellations; des textes commentant les caractéristiques de chaque région céleste; une trentaine de théories élémentaires sur les principales questions intéressant l'astronomie; des tableaux synoptiques facilitant la recherche des constellations parmi les différentes planches et cartes; la

reproduction d'une douzaine de photographies prises au télescope. Format 24 x 32, cartonné, sous jaquette illustrée en 2 couleurs, 1955 Fr. 3 200

ATLAS CÉLESTE (Abbé Moreux). Aspects du ciel visible dans nos régions pour chaque mois de l'année. 12 cartes du ciel avec explications, album 25 x 32 Fr. 385

LES RAYONS COSMIQUES dans leurs rapports avec l'électricité atmosphérique, la Météorologie, le Géomagnétisme et l'Astronomie (Dauvillier A.)
Tome I : Historique. Les rayons cosmiques et l'électricité atmosphérique. Méthodes de mesures des rayons cosmiques. Absorption dans la matière. 248 p. 16 x 25, 116 fig., 1954 Fr. 1 750
Tome II : Géomagnétisme et rayons cosmiques. Nature des rayons cosmiques. Bilan énergétique. Génétique. Effets provoqués par les rayons cosmiques. Des variations. Météorologie et rayons cosmiques. Origine des rayons cosmiques. 318 p. 16 x 25, 137 fig., 1954 Fr. 2 600

POUR OBSERVER LE CIEL (Abbé Moreux). Astronomie pratique : Construction d'une première lunette - Observation : La Lune et le Soleil - les Planètes - Les observations stellaires - Construction d'un cadran solaire - Le Calendrier - Comment on dresse une carte céleste. 204 p. 11 x 18, 94 fig., 1954 Fr. 290

LE CIEL SANS TÉLESCOPE (Ravigneaux P.). Les étoiles. Les planètes. Soleil et terre. Soleil, planètes et lune. Terre, planètes et étoiles. Cartes. 32 p. 16 x 25, 3 fig. et 3 pl., 1954 Fr. 290

NOTES PRATIQUES POUR LES OBSERVATEURS DÉBUTANTS (Texereau J.). Les instruments. Leur usage. Premiers exercices. Explications des données et notations de la « Revue des constellations ». L'observation du Ciel à l'œil nu et à la jumelle. 64 p. 16 x 24, 27 fig., 1955 Fr. 300

LA CONSTRUCTION DU TÉLESCOPE D'AMATEUR (Texereau J.). Considérations générales et projet. Réalisation du grand miroir. Miroir plan diagonal. Les oculaires. Partie mécanique de télescope. La Monture azimutale. Accessoires. Finition, réglages. L'instrument dans les conditions d'emploi réel. 136 p. 16 x 24,5, 70 fig., 1952 Fr. 660

ASTROPHOTOGRAPHIE D'AMATEUR. (Texereau J. et Vaucouleurs G. de.). L'astrophotographie à l'aide des appareils usuels. L'astrophotographie à l'aide des appareils spéciaux. La technique en astrophotographie. 94 p. 13,5 x 21, 59 fig., 1954 Fr. 800

ASTRONAUTIQUE

L'ASTRONAUTIQUE (Ananoff A.). Bases du problème astronautique. De la fusée à poudre à la propulsion atomique. Réalisations et projets préaeronautiques. Le problème du véhicule cosmique. Trajectoires, distances et durées des voyages interplanétaires. 498 p. 13 x 20, 155 fig., 1950 Fr. 800

L'ASTRONAUTIQUE (Esnault-Pelterie R.). Mouvement de la fusée dans le vide, dans l'air. Densité et composition de la très haute atmosphère. Détente des gaz

dans une tuyère. Combustion dans une chambre. Utilisation possible des fusées. Voyages interplanétaires. Intérêt de l'exploration planétaire. 250 p. 16 x 25, 19 fig., 9 pl. hors-texte, 1930 Fr. 345
Complément: 100 p. 16 x 25, nbr. fig., 1 pl. hors-texte, 1935 Fr. 175

VOYAGES INTERPLANÉTAIRES ET ÉNERGIE ATOMIQUE (Richard-Foy R.). Les données de l'astronautique. Vitesse au cours du voyage. Propulsion par réaction. Fonctionnement thermo-dynamique. Emploi de l'énergie atomique. Quelques problèmes particuliers. Propulsion dans l'atmosphère. 79 p. 12 x 19, 1947 Fr. 144

L'ASTRONAUTIQUE (Laming L.) (397). Principes de la réaction et des fusées. Les grandes fusées actuelles. L'astronautique et l'énergie atomique. Navigation et trajectoire. Problèmes physiologiques. Les planètes à explorer. Applications de l'astronautique. 110 p. 11,5 x 17,5, 10 fig., 1949 Fr. 180

LA PROPULSION PAR FUSÉES (Barrère M., Jaumotte A., Fraeys de Veubeke B. et Vandekerckhove J.). Propriétés énergétiques de la propulsion par fusées. Tuyères propulsives et paramètres caractéristiques des moteurs-fusées. Généralités sur les fusées à propergol solide. Les fusées à propergol solide avec surface de combustion quelconque. Étude générale des fusées à propergols liquides. Les propergols liquides. La technique expérimentale dans la propulsion par fusée. Les instabilités de combustion dans les moteurs. Fusées à propergols liquides. Instabilités de basse fréquence. Étude des instabilités de haute fréquence. Balistique externe : engins non guidés, principes de guidage, accélérations transversales, trajectoires optimales. 392 p. 16 x 25, Nbr. fig., 1957 Fr. 6 700

LES HOMMES DANS L'ESPACE. Des satellites artificiels aux planètes habitables. (Oberth H.) Traduit de l'allemand par Mengin-Lecreux L. L'évolution de l'homme de l'espace. Fusées satellites. Équipement de l'astronaute. La station extérieure de l'espace. Le miroir de l'espace. Astronefs électriques. L'automobile lunaire. L'avenir de la technique astronautique. 224 p. 16 x 21, 60 fig., 4 photos hors-texte, 1955 Fr. 850

SATELLITES ARTIFICIELS (Rousseau P.). Un esquif s'élance dans l'océan du ciel. Le problème de l'Astronautique. Colonie dans le ciel. La conquête des mondes. 192 p. 15 x 21,5, 9 fig., 1957 Fr. 600

LES FUSÉES, VÉHICULES DE L'AVENIR (Kaiser H.-K.). Traduit de l'allemand par Rodier R. Bref historique de la fusée de l'antiquité à nos jours. Comment fonctionne une fusée. Le début de la recherche scientifique sur les fusées. L'évolution moderne de la technique des fusées. Le présent et l'avenir. 176 p. 16 x 21, 21 photos hors-texte, 1954 Fr. 720

VERS LA CONQUÊTE DES MONDES (Ley W.). Traduit de l'américain par Saimand C. Le rêve inter-

sidéral. Ancêtres et précurseurs. Naissance de l'astronautique. Les engins de guerre à réaction. Les grandes fusées modernes. La navigation interplanétaire. 292 p. 15,5 x 21,5, 11 photos hors-texte, 30 fig., 1955 Fr. 980

CIEL DES HOMMES (Léonard J.-N.). Traduit de l'anglais par Héliard P. L'homme pourra-t-il bientôt quitter la terre pour gagner d'autres planètes ? Une mise au point de tous les problèmes soulevés par le vol interplanétaire. 280 p. 16 x 21, 32 photos hors-texte, 1955 Fr. 960

ROUTE DES ASTRES (Moore P.). (Coll. « Découvertes ».) Version française d'A. de Noblet. Télescopes et astronomes. La terre et les étoiles. L'attraction terrestre. Aéronefs et fusées. Vers la lune. Exploration des planètes. Raid sur Mars. Près du soleil. Dans les profondeurs. Dangers du ciel. Les univers inaccessibles. Messages à travers l'espace. Galaxies. A l'aube d'une ère nouvelle. 242 p. 16 x 21,5, Nbr. photos et illustrations, 1955 Fr. 690

LA VIE SUR D'AUTRES MONDES ? (Spencer Jones H.). Traduit de l'anglais par Mamontoff C. Image de l'Univers. Conditions nécessaires à l'existence de la vie. Méthodes d'investigation. Évolution de l'atmosphère terrestre. Mondes sans atmosphère. Les planètes géantes. Vénus, sœur jumelle de la terre. Mars, la planète de la vie en déclin. Origine du système solaire. Au delà du système solaire. 180 p. 15 x 22, 8 planches photos, 1958 Fr. 680

L'ASTRONAUTIQUE Des satellites artificiels à l'exploration des planètes (Louvère J.). Comment on quittera la terre. Fusées, astronefs, navettes, astronefs-paquebots. Vie à bord des astronefs. Astrogares et astropports. Organisation et déroulement des voyages interplanétaires. Ce qu'on trouvera sur les autres corps célestes. Exploration et mise en valeur des planètes. A quand les voyages interstellaires ? 144 p. 16 x 23, 75 fig. Cartonné, 1957 Fr. 980

LUNE, ESCALE VERS L'INFINI (Gamow G.). (Coll. « Science, Jeunesse ».) Adapté de l'américain par Meunier D. Chandrasekhar, le porte-lune. La lune, la pomme et sir Isaac. La naissance de la lune. Sélénographie. Rapide pour la lune. 104 p. 13,5 x 18,5, 8 illustr. hors-texte, nbr. dessins, cartonné, 1955 Fr. 390

LES MYSTÈRES DE L'ESPACE ET DU TEMPS. Wilkins H.-P. — Mystères sur la Terre. Objets volants dans l'espace. Le mystère de la Lune. Le mystère de Mars. Mystères du Soleil et des planètes. Fantômes de l'espace. Parmi les étoiles. 206 p. 14 x 22,5, 3 fig. et 8 pl. hors-texte, 1956 Fr. 900

LE DOSSIER DES SOUCOUPES VOLANTES (Keyhoé D.). Le résultat des enquêtes sur les soucoupes volantes, d'après les constats d'observations et les conclusions des services techniques de renseignements de l'aviation américaine. L'auteur croit fermement à l'origine interplanétaire des soucoupes volantes. 252 p. 15 x 21, 4 hors-texte photographiques, 1954 Fr. 650

Les commandes doivent être adressées à la Librairie SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, Paris (9^e). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque postal de la Librairie : Paris 4192-26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition, soit 10 %. (avec un minimum de 50 fr.). Envoi recommandé : 45 fr de supplément.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

UNE DOCUMENTATION INDISPENSABLE

Notre catalogue général (5^e édition), 5.000 titres d'ouvrages techniques et scientifiques sélectionnés, 425 pages, 13,5 x 21. Franco : 250 fr.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS (9^e)

Le directeur de la publication Jacques DUPUY — Imprimerie des Dernières Nouvelles de Strasbourg — Dépôt légal : 7.127/1957

APPRENEZ L'ANGLAIS

L'Espagnol, l'Allemand, l'Italien, le Russe, l'Arabe

L'ÉCOLE UNIVERSELLE vous offre le moyen le plus pratique et le plus rapide d'apprendre la langue de votre choix.

Suivez chez vous, aux MOINDRES FRAIS, nos **Cours pratiques de Langues étrangères par correspondance** : au bout de peu de mois, vous serez capable de soutenir une conversation courante; de lire des romans, les articles d'information des journaux, etc.; d'écrire des lettres simples.

Ce résultat, qui vous émerveillera, vous l'obtiendrez avec la plus grande aisance.

Vous connaîtrez rapidement de nombreux mots du **vocabulaire usuel**.

Vous n'aurez pas à apprendre de règles grammaticales arides. Vous retiendrez sans effort les simples **remarques** qui vous seront faites à propos de chaque leçon.

Des professeurs spécialistes corrigeront vos **exercices de traduction et de conversation**. Ces devoirs vous seront retournés, soigneusement corrigés et annotés, accompagnés des « **corrigés-types** », entièrement rédigés par le professeur.

Les Cours pratiques de Langues de l'École Universelle vous enseigneront non seulement à lire et à écrire, mais surtout à **parler** la langue de votre choix.

La prononciation de tous les mots est en effet exactement indiquée.

Il ne suffit pas d'entendre les mots pour les reproduire correctement.

Des milliers d'élèves adressent chaque année à l'ÉCOLE UNIVERSELLE des lettres d'éloges et de reconnaissance. Celles de ces lettres qui sont publiées dans notre brochure vous apporteront la preuve de l'efficacité de nos Cours pratiques de Langues étrangères.

Notre méthode de prononciation figurée, originale et simple, est la seule, grâce à laquelle, dès le début de votre étude, vous pourrez parler avec la certitude d'être compris.

Demandez l'envoi gratuit, par retour du courrier, de la brochure N° L. V. 153

ÉCOLE UNIVERSELLE

59, boulevard Exelmans, PARIS (XVI^e)
11 et 12, place Jules-Ferry, LYON — Chemin de Fabron, NICE

Pour gagner bientôt votre vie dans une carrière d'avenir

DEVENEZ

AIDE-COMPTABLE

Préparez chez vous, à vos heures de loisirs, le certificat d'aptitude

Toutes les maisons de commerce, toutes les entreprises recrutent des employés pour leurs services comptables.

Les employés qui possèdent le C.A.P. d'Aide-Comptable sont particulièrement appréciés.

L'ÉCOLE UNIVERSELLE par correspondance vous permet de vous préparer chez vous, aux moindres frais, pendant vos heures de loisirs et avec les meilleures chances de succès, à l'examen du C.A.P. d'Aide-Comptable.

Et si, sans attendre de posséder le C.A.P., vous désirez occuper un emploi dans un service comptable, notre préparation vous mettra en mesure de rendre beaucoup plus de services qu'un débutant n'ayant aucune notion de comptabilité et de gagner ainsi plus largement votre vie.

NOTRE PRÉPARATION

Il suffit de posséder une instruction primaire pour aborder notre préparation. Œuvre de techniciens pourvus des titres les plus appréciés, elle a été conçue selon une méthode entièrement originale qui captivera votre

attention et facilitera le travail de votre mémoire : les cours sont clairs, enrichis d'exemples concrets; les sujets de compositions que nous vous proposons seront un excellent entraînement à l'exercice de votre profession.

Nos élèves vous diront eux-mêmes quels sont les merveilleux avantages de notre préparation : sa rapidité, sa commodité et surtout son incomparable efficacité. Demandez la brochure gratuite A.C. 359 où vous trouverez quelques-unes des lettres enthousiastes que nos lauréats nous ont adressées pour nous annoncer leurs brillants succès. Cette brochure vous documentera en détail sur le C.A.P. d'Aide-Comptable, le B.P. de Comptable, le Diplôme d'Expert-Comptable et sur nos préparations à tous les examens, toutes les carrières de la Comptabilité.

Notre brochure contient, en outre, des renseignements sur nos **préparations aux carrières du Commerce** : Employé de bureau, Sténodactylographe, Employé de banque, Publicitaire, Secrétaire de Direction, Préparation aux C.A.P., B.P.; Préparation à toutes autres fonctions du **Commerce, de la Banque, de la Publicité, des Assurances, de l'Hôtellerie.**

ÉCOLE UNIVERSELLE

59, boulevard Exelmans, PARIS (XVI^e)
Chemin de Fabron, NICE — 11, place Jules-Ferry, LYON



Connaissez-vous son visage de championne ?

En moins de deux ans, toutes les grandes épreuves du calendrier sportif international ont vu la victoire de la Dauphine :

Tour de France Automobile	1956	Tour du Portugal	1957
Mille Miles	1956-1957	Circuit d'Avondara (Mexique)	1957
Liège - Rome - Liège	1957	Rallye des Tulipes	1957 *
12 Heures de Sebring (U.S.A.)	1957	Rallye du Sénégal	1957 *
Tour de Belgique	1957	Tour de Corse	1956 *

* 1er au classement général toutes catégories

Bien sûr, **la Dauphine gagne** parce que c'est une voiture brillante : vous en faites chaque jour l'expérience.

Mais surtout, **la Dauphine gagne** parce que sa mécanique résiste aux véritables "traitements de choc" de la course. C'est pour vous un bulletin de confiance.

Dauphine

CLICHÉ PARI

RENAULT

GRAND NATIONAL



Circuit de Rouen-Les Essarts : 3 Dauphines, 1 Mercédès, 1 DB, 1 Porsche, roue dans roue...